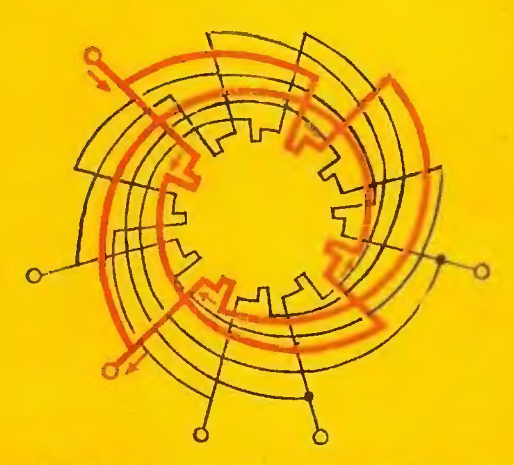
ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ



СПРАВОЧНИК молодого обмотчика электрических машин

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. Допустимые температуры нагрева частей электрических машин

Предельные допустимые превышения температуры частей электрических машин при температуре газообразной охлаждающей среды 40 °С и высоте над уровнем моря не более 1000 м должны быть не более значений, указанных в табл. 1. При температурах больше 40 °С и высоте более 1000 м эти значения должны быть уменьшены в соответствии с ГОСТ 183—74 (Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования).

Таблица 1. Предельные длительно допустимые превышения температуры частей электрических машин

Обозначения: Δt — превышение температуры при измерении методом термометра, °С, $\Delta t'$ — превышение температуры при измерении методом сопротивления, °С.

Части электрических машин	При классе нагревостойкости изоляции									
	A		E		B		F		H	
	Δt	$\Delta t'$	Δt	$\Delta t'$	Δt	$\Delta t'$	Δt	$\Delta t'$	Δt	$\Delta t'$
1. Обмотки переменного тока машин мощностью менее 5000 кВ·А или с длиной сердечника менее 1 м	50	60	65	75	70	80	85	100	105	125
2. Однорядные обмотки возбуждения с оголенными поверхностями	65	65	80	80	90	90	110	110	135	135
3. Обмотки возбуждения малого сопротивления и компенсационные	60	60	75	75	80	80	100	100	125	125

Части электрических машин	При классе нагревостойкости изоляции									
	A		E		B		F		H	
	Δt	$\Delta t'$	Δt	$\Delta t'$	Δt	$\Delta t'$	Δt	$\Delta t'$	Δt	$\Delta t'$
4. Обмотки возбуждения, кроме указанных в пп. 2, 3	50	60	65	75	70	80	85	100	105	125
5. Якорные обмотки, соединенные с коллектором	50	60	65	75	70	80	85	100	105	125
6. Сердечники и другие стальные части, соприкасающиеся с изолированными обмотками	60	—	75	—	80	—	100	—	125	—
7. Коллекторы и контактные кольца	60	—	70	—	80	—	90	—	100	—

Методом сопротивления измеряют среднюю температуру. Он основан на изменении сопротивления проводника с изменением его температуры. Замеряя сопротивление проводника в холодном и горячем состоянии, рассчитывают температуру проводника.

В отдельных точках частей машины температура может быть выше средней. Так, например, в открытых машинах с воздушным охлаждением, у которых хорошо охлаждаются лобовые части обмоток, пазовые части нагреваются больше, чем лобовые. Превышения температуры в отдельных наиболее нагретых точках должны быть не более: 65 ° — для изоляции класса A, 90 °C — для изоляции класса B, 110 и 135 °C — соответственно для изоляции классов F и H.

2. Обозначение типов асинхронных двигателей единых серий

В двигателях серий A, AO, A2, AO2 и A3 буква A означает брызгозащищенное исполнение, AO — закрытое обдуваемое, первая цифра после букв — номер серии. Число после первого дефиса характеризует типоразмер; первая цифра в нем указывает габарит (условный номер наружного диаметра сердечника статора), вторая — условный номер длины. Цифра после второго дефиса соответствует числу полюсов. Например, AO2-62-4 — асинхронный трехфазный электродвигатель в закрытом обдуваемом исполнении, второй единой серии, шестого габарита, второй длины, четырехполюсный. Электродвигатели 1—5-го габаритов во второй серии выпускают только в закрытом обдуваемом исполнении, что повышает их надежность: срок службы закрытой машины малой мощности увеличивается в 1,5—2 раза по сравнению с защищенной.

Двигатели единых серий А, АО и А2, АО2 основного исполнения имеют короткозамкнутый ротор с литой алюминиевой обмоткой. На их базе был создан ряд модификаций двигателей. При обозначении модификаций к буквенной части добавляется буква для электродвигателей: с повышенным пусковым моментом — П (например, АОП2-62-4); с повышенным скольжением — С, для текстильной промышленности — Т, с фазным ротором — К.

Асинхронные двигатели с повышенным пусковым моментом предназначены для привода механизмов с большими нагрузками в период пуска. Двигатели с повышенным скольжением применяются для механизмов с неравномерным ударным характером нагрузки и механизмов с большой частотой пусков и реверсов.

Для двигателей общего назначения с алюминиевой обмоткой статора в конце обозначения добавляется буква А (например, АО2-42-4А).

В двигателях на несколько частот вращения в цифры, характеризующие числа полюсов, вносят все их значения, разделенные косыми линиями: например АО-94-12/8/6/4 — трехфазный асинхронный двигатель серии АО 9 габарита, 4-й длины на 12, 8, 6 и 4 полюсов.

Буква Л (например, АОЛ2-21-6) обозначает, что корпус и щиты отлиты из алюминиевого сплава.

Обозначение типоразмера двигателя серии 4А, например 4АН280М2У3, расшифровывается следующим образом: 4 — порядковый номер серии, А — вид двигателя (асинхронный), Н — защищенный (отсутствие данного знака означает закрытое обдуваемое исполнение), 280 — высота оси вращения (три или две цифры), мм, S, M или L — установочный размер по длине станины, 2 (или 4, 6, 8, 10, 12) — число полюсов, У3 — климатическое исполнение (У) и категория размещения (3).

После первой буквы А может стоять вторая А (например, 4АА63), которая означает, что станина и щиты выполнены из алюминиевого сплава, или Х—станина алюминиевая, щиты чугунные; отсутствие этих знаков свидетельствует о том, что станина и щиты чугунные или стальные.

В обозначении двигателей с фазным ротором ставится буква К, например 4АНК.

При одних и тех же размерах станины сердечник статора может иметь разные длины. В этом случае в обозначении типоразмера после букв S, M, L и непосредственно после высоты вращения, если эти буквы отсутствуют, ставятся знаки А (меньшая длина сердечника) или В (бо́льшая длина), например 4А90LA8, 4А90LB8, 4А71А6, 4А71В6.

Климатические исполнения двигателей обозначаются следующими буквами:

У — для умеренного климата, ХЛ — для холодного климата, ТВ — для влажного тропического климата, ТС — для тропического сухого климата, Т — для тропического как сухого, так и влажного климата, О — для всех районов на суше (общеклиматическое исполнение), М — для морского умеренного холодного климата, ТМ — для тропического морского климата, ОМ — для неограниченного района плавания, В — для всех районов на суше и море.

Категории размещения обозначаются цифрами: 1 — для работы на открытом воздухе, 2 — для помещеиий со сравнительно свободным доступом воздуха, 3 — для закрытых помещений, где колебания температуры, влажности, а также воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе, 4 — для помещений с ис-

кусственно регулируемыми климатическими условиями (например, закрытые отапливаемые и вентилируемые производственные помещения), 5 — для работы в помещениях с повышенной влажностью (например, невентилируемые и неотапливаемые подземные помещения, помещения, в которых возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолке).

ГОСТ 17494—72 на электрические машины устанавливают степени защиты персонала от соприкосновения с токопроводящими или движущимися частями, находящимися внутри машины и, кроме того, от попадания твердых посторонних тел и воды.

Электродвигатели общего применения в основном изготовляют двух степеней защиты: IP23 (или IP22 для двигателей постоянного тока) и IP44: первая из них характеризует машины в защищенном исполнении, вторая — в закрытом.

Буквенно-цифровое обозначение степени защиты состоит из латинских букв IP и двух цифр. Первая из этих цифр характеризует степень защиты персонала от соприкосновения с токопроводящими и вращающимися частями, находящимися внутри машины, а также степень защиты самой машины от попадания в нее твердых посторонних тел; вторая цифра — от проникновения воды внутрь машины.

В обозначении IP23 первая цифра 2 указывает, что в машине обеспечена защита от возможного соприкосновения пальцев человека с токопроводящими и движущимися частями и попадания внутрь твердых посторонних тел диаметром не менее 12,5 мм. Цифра 3 указывает на обеспечение защиты от дождя, падающего на машину под углом не более 60° к вертикали, а в обозначении IP22 вторая цифра — от капель воды, падающих под углом не более 15° к вертикали.

В обозначении IP44 первая цифра 4 указывает на обеспечение защиты от соприкосновения инструмента, проволоки и других подобных предметов толщиной более 1 мм с токопроводящими частями внутри машины, а также от попадания внутрь предметов размерами не менее 1 мм. Вторая цифра 4 обозначает защиту от водяных брызг любого направления.

3. Неисправности обмоток электрических машин

Причина неисправностей обмоток электрических машин, меры их предупреждения и устранения приведены в табл. 2—9.

Таблица 2. Механические повреждения изоляции при укладке обмотки в пазы сердечника

Причины	Меры обнаружения, предупреждения и устранения
Наличие в пазах выступающих листов и заусенцев	Усиленный контроль за качеством шихтовки сердечников. Переход на штамповку листов компаундными штампами

Причины	Меры обнаружения, предупреждения и устранения
Наличие в пазах металлических стружки и опилок	Тщательная продувка пазов сердечника перед укладкой обмотки и в процессе ее укладки (после повертывания сердечника, перед укладкой последних катушек). Содержание рабочих мест в чистоте
Высокий коэффициент заполнения паза	Проверить калибром размеры паза, соответствие размеров провода и толщины изоляции размерам, заданым чертежом
Недостаточная механическая прочность изоляции	Замена изоляционных материалов более прочными
Некачественный или неправильно подобранный инструмент для укладки обмотки в пазы	Подобрать инструмент в зависимости от типа обмотки, размеров паза, выполняемых операций
Некачественный провод	Проверить провод на соответствие требованиям технических условий
Заусенцы на катушках	Исправить оснастку для изготовления катушек
Наличие острых углов на выходе из паза	Запилить острые углы
Недостаточная механическая прочность изоляции на выходе из паза	Усилить пазовую коробочку на выходе дополнительным слоем изоляции путем образования манжеты. Установить прокладки на нажимную шайбу сердечника или изоляционные листы на торцах сердечника
Отсутствие зазоров в лобовых частях обмотки *	Увеличить вылет лобовой части обмотки
Не выдержан угол при растяжке жесткой катушки, в результате чего ее сторона входит в паз с перекосом	Выправить пазовую часть катушки при укладке специальной скобой, изготовленной по ее размерам
Износ направляющих штырей толкателя при машинной намотке, намоточного шаблона; заусенцы на них	Отремонтировать оснастку

* При недостаточных зазорах в лобовых частях катушки при укладке прижимаются к одной стенке паза, в результате чего происходит повреждение изоляции о зубец на выходе из паза.

Таблица 3. Пробой изоляции на корпус и между обмотками

Причины	Меры обнаружения, предупреждения и устранения
Увлажнение и загрязнение обмотки. Механическое повреждение изоляции *	Установка изоляционных прокладок, замена отдельных катушек или всей обмотки, сушка, чистка и пропитка обмотки
Старение изоляции **	Замена всей обмотки
Химическое разрушение изоляции от действия масел, щелочи и других агрессивных сред	Замена обмотки с применением химостойких электроизоляционных материалов, проводов
Повреждение изоляции выводов и колодки зажимов	Изолирование выводов, ремонт изоляции колодки
Малое расстояние лобовой части обмотки от щита или корпуса (пробой в собранной машине)	Проверить размеры лобовых частей и зазоры между обмоткой и корпусом (щитом)
Недостаточная высота или перекашивание (сползание) пазовой коробочки при укладке	Увеличить высоту пазовой коробочки, ввести предварительное формование коробочки по размерам паза
Неисправность вольтметра установки	Проверить вольтметр
Недостаточная ширина прокладки между катушками в пазу	Согласовать ширину прокладки с размерами паза, тщательно проверять ширину ее перед установкой в паз
Недостаточная толщина прокладки между катушками в пазу	Увеличить толщину прокладки, если позволяют размеры паза
Повертывание прокладки между катушками в пазу	Увеличить длину прокладки с таким расчетом, чтобы лобовые части при укладке удерживали ее. Выправить прокладку подбойкой перед укладкой верхних сторон катушек. При изготовлении всыпной обмотки ввести операцию формовки прокладки, придав ей U-образную форму

* Механическое повреждение изоляции может произойти при изготовлении (укладке) обмоток, а также при эксплуатации в результате действия электродинамических сил при пуске и торможении двигателей из-за недостаточно жесткого крепления лобовых частей. Повреждение изоляции от действия электродинамических сил характерно для крупных машин со значительными вылетами лобовых частей.

** Старением изоляции называют необратимое ухудшение ее свойств со временем. Изоляция стареет в результате длительной эксплуатации. Процесс ускоряется под действием высоких температур, не допустимых для данного класса изоляции. Повышенные температуры возникают при перегрузке машины, плохой вентиляции (например, из-за загрязнения каналов в обмотке) и по другим причинам.

Причины	Меры обнаружения, предупреждения и устранения
Попадание в пазы и лобовые части припоя во время пайки после укладки обмотки	Пайку производить при горизонтальном положении оси сердечника
Касание катушек верхнего и нижнего слоев обмотки в лобовых частях на выходе из паза	Удлинить пазовую прокладку, ввести кольцевую прокладку между слоями обмотки в лобовой ее части
Касание лобовых частей рядом лежащих катушек разных фаз	Изолировать одну из крайних катушек каждой катушечной группы электроизоляционной лентой. Изолировать катушечные группы друг от друга в лобовой части прокладками
Наличие острых углов и наплывов припоя на междукатушечных соединениях	Запилить острые углы до наложения изоляции. Для уменьшения наплывов применять припой в виде тонкой стружки
Неправильное выполнение соединений, неправильная маркировка выводов трехфазной обмотки (горит контрольная лампа при проверке изоляции между фазами)	Проверить правильность соединений в соответствии со схемой обмотки и правильность маркировки выводов фаз

Таблица 4. Завышенное (заниженное) сопротивление обмотки, разные сопротивления фаз в трехфазной обмотке

Причины	Меры предупреждения, обнаружения и устранения
Обрыв параллельного проводника или параллельной ветви в месте пайки. Обрыв параллельного проводника в месте пайки, произведенной при намотке катушек или на заводе-поставщике	Проверить места паек прощупыванием и покачиванием, следя одновременно за показанием прибора. При покачивании места обрыва стрелка отклоняется от первоначального положения. В случае необходимости с мест паек снять изоляцию. Пайку при намотке производить только в лобовой части; на катушках, имеющих пайку, ставить отличительные знаки
Излом проводника в месте, где он подвергался частым перегибам	Проверить провода в местах, где возможен их изгиб

Причины	Меры предупреждения, сбнаружения и устранения
Часть катушек или вся обмотка намотаиа проводом другого сечения	Проверить размеры сечения проводов катушек
Неправильное число витков в одной или нескольких катушках	Проверить числа витков в катушках. Если обмотка выполняется разновитковыми катушками, ввести маркировку, исключающую их перепутывание
Увеличенное удельное сопротивление обмоточного провода	Рассчитать сопротивление катушки, измерив длину и сечение провода, и сравнить его с измеренным сопротивлением
Температура обмотки отличается от расчетной	Привести сопротивление к расчетному
Чрезмерно высокое натяжение провода при намотке катушек	Проверить натяжение провода и размеры его сечения до и после намотки катушек (возможно уменьшение сечения за счет вытягивания)
Неправильное число катушек в катушечных группах	Проверить число катушек в группах и правильность чередования групп (ошибка наиболее вероятна при дробных числах пазов на полюс и фазу)
Неправильное соединение элементов обмотки	Проверить правильность соединений
Неодинаковая длина или сечение соединений и выводов (для обмоток с небольшим числом последовательных витков)	Проверить длину и сечение соединений и выводов
Завышенные или заниженные размеры катушек	Проверить размеры катушек
Замыкание обмотки на корпус в двух или более местах	Проверить корпусную изоляцию контрольной лампой
Замыкание между витками	Проверить витковую изоляцию обмотки
Наличие в катушках параллельных проводников различного сечения	Проверить сечение каждого параллельного проводника в катушках

Таблица 5. Перегревы обмоток (общие причины)

Причины	Меры устранения
Перегрузка машины	Снизить нагрузку
Уменьшение вентиляционного эффекта при уменьшении частоты вращения	Довести частоту вращения до номинальной
Засорение вентиляционных каналов	Продуть и прочистить каналы
Слой грязи и пыли на обмотке, ухудшающий теплоотдачу	Продуть и очистить обмотку
Витковые замыкания	Отремонтировать или заменить катушки с витковыми замыканиями или заменить всю обмотку
Направление вращения машины, имеющей вентилятор с наклонными лопатками, не согласовано с направлением наклона лопаток	Изменить направление вращения машины или сменить вентилятор
В машину поступает горячий воздух	Уменьшить температуру воздуха, применить машину большей мощности

Таблица 6. Перегрев обмотки возбуждения машины постоянного тока

Причины	Меры обнаружения, предупреждения и устранения
Велик ток возбуждения, добавочное сопротивление в цепи возбуждения параллельной обмотки мало или отсутствует	Отрегулировать ток возбуждения так, чтобы при номинальной нагрузке и номинальном напряжении частота вращения двигателя соответствовала указанной на табличке
Неправильное соединение катушек полюсов (параллельное вместо последовательного)	Проверить соединение катушек по схеме
Витковые замыкания в одной или нескольких катушках полюсов	Найти * и отремонтировать или заменить дефектные катушки
Металлическое замыкание параллельной обмотки с обмоткой добавочных полюсов или с последовательной обмоткой **	Место замыкания найти с помощью контрольной лампы, отсоединив выводы обмоток

* Катушки с витковыми замыканиями при последовательном соединении обмотки возбуждения нагреваются меньше.

** Часть катушек при этом шунтируется и ток возбуждения увеличивается.

Таблица 7. Перегрев обмотки якоря машины постоянного тока

Причины	Меры обнаружения и устранения
Неодинаковый воздушный зазор под отдельными полюсами при числе полюсов больше двух	Отрегулировать зазоры
Неправильное чередование главных полюсов *	Проверить чередование главных полюсов
Витковые замыкания в одной или нескольких катушках полюсов	Проверить нагрев катушек (при последовательном соединении катушки с витковыми замыканиями греются меньше)
Замыкание коллектора	Удалить заусенцы, вызывающие замыкание пластин
Замыкание между петушками или хомутиками	Проверить места присоединений обмотки к коллектору и устранить замыкания

* Генератор при этом дает номинальное напряжение только при повышенной частоте вращения. Двигатель при номинальном напряжении и правильном сопротивлении регулировочного реостата имеет повышенную частоту вращения.

Таблица 8. Перегрев обмотки статора асинхронного двигателя

Причины	Меры обнаружения и устранения
Напряжение на зажимах ниже номинального	Снизить нагрузку
Соединение фаз обмотки звездой вместо треугольника	Правильно соединить фазы обмотки
Неправильное соединение катушек в одной фазе или неправильное соединение фаз (фазы или катушки перевернуты) *	Проверить правильность соединений
Обмотка одной фазы замкнута на корпус в двух местах	Замыкание находят с помощью мегаомметра или контрольной лампы
Короткое замыкание между двумя фазами	Изолировать место пробоя изоляции или заменить обмотку

* «Перевертывание» фаз случается у двигателей с шестью выводами. Обмотка сильно нагревается в отдельных местах; сила тока в фазах неодинакова; двигатель сильно гудит и развивает пониженный вращающий момент.

Таблица 9. Перегрев обмотки фазного ротора асинхронного двигателя

Причины	Меры обнаружения и устранения
Плохой контакт в местах соединений обмотки с контактными кольцами	Проверить места соединений и восстановить контакт
Плохой контакт щеток с кольцами	Проверить пришлифовку щеток, свободный ход их в обойме, прижатие щеток к кольцам, биение колец, чистоту колец (отсутствие на них масла)
Ослабление контактов для замыкания обмотки ротора после пуска	Ослабленные контакты подтянуть
Плохой контакт в соедиениях между контактными кольцами и пусковым реостатом или в пусковом реостате	То же

II. ПРОВОДА ОБМОТОЧНЫЕ И ДЛЯ ВЫВОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

4. Характеристика обмоточных проводов

Таблица 10

Обозначения: d — номинальный диаметр круглой проволоки, мм, a и b — стороны сечения прямоугольной проволоки, мм

Марка провода	Характеристика изоляции	Класс нагревостойкости	Диапазон размеров проволоки, мм
ПЭЛ	Лак на масляной основе	А	$d = 0{,}02 \div 2{,}50$
ПЭВ-1	Уменьшенная толщина, лак на поливинилацеталевой основе	А	$d = 0{,}02 \div 2{,}50$
ПЭВ-2	Нормальная толщина, лак на поливинилацеталевой основе	А	$d = 0{,}05 \div 2{,}50$
ПЭМ-1	Лак ВЛ-941	А	$d = 0{,}05 \div 2{,}50$
ПЭМ-2	Повышенная толщина, лак ВЛ-941	А	$d = 0{,}05 \div 2{,}50$
ПЭТВ-2	Эмаль на основе полиэфирных лаков	В	$d = 0{,}06 \div 2{,}50$
ПЭТ-155	Теплостойкий лак на полиэфиримидной основе	F	$d = 0{,}06 \div 2{,}50$
ПЭТП-155	Полиэфирный лак, провод прямоугольный	F	$a = 0{,}80 \div 2{,}00$ $b = 2{,}00 \div 5{,}90$

Марка провода	Характеристика изоляции	Класс нагревостойкости	Диапазон размеров проволоки, мм
ПЭТВМ *	Лак ПЭ-939	B	$d = 0{,}25 \div 1{,}40$
ПЭВАТ	Высокопрочная эмаль, жила из твердой (неотожженной) алюминиевой проволоки	A	$d = 0{,}08 \div 0{,}80$
ПЭВА	Высокопрочная эмаль, жила из мягкой (отожженной) алюминиевой проволоки	A	$d = 0{,}50 \div 2{,}50$
ПЭШО	Лак и один слой шелковых нитей	A	$d = 0{,}05 \div 1{,}56$
ПЭЛО	Лак и один слой полиэфирных нитей	A	$d = 0{,}20 \div 1{,}32$
ПЭБО	Лак и один слой хлопчатобумажной пряжи	A	$d = 0{,}38 \div 2{,}12$
ПЭВП	Лак на поливинилацеталевой основе, провод прямоугольный	A	$a = 0{,}80 \div 2{,}83$ $b = 2{,}12 \div 5{,}90$
ПБД	Два слоя нитей из хлопчатобумажной пряжи	A	$d = 0{,}355 \div 5{,}30$ $a = 0{,}90 \div 5{,}60$ $b = 2{,}12 \div 15{,}00$
АПБД	Два слоя нитей из хлопчатобумажной пряжи, провод алюминиевый	A	$d = 1{,}32 \div 8{,}00$ $a = 1{,}80 \div 5{,}60$ $b = 4{,}00 \div 16{,}00$
ПСД	Стеклянные нити, наложенные двумя слоями с подклейкой и пропиткой нагревостойким лаком или компаундом	F	$d = 0{,}74 \div 5{,}20$ $a = 0{,}90 \div 5{,}60$ $b = 2{,}12 \div 12{,}5$
ПСД-Л	То же, но с поверхностным лаковым слоем	F	$d = 1{,}00 \div 5{,}20$ $a = 0{,}90 \div 5{,}60$ $b = 2{,}12 \div 12{,}5$
ПСД-Т	То же, но с уменьшенной толщиной	F	$d = 0{,}315 \div 2{,}12$
ПСДТ-Л	То же, но с поверхностным лаковым слоем	F	$d = 0{,}315 \div 2{,}12$
ПСДК	Стеклянные нити, наложенные двумя слоями, с подклейкой и пропиткой кремнийорганическим лаком	H	$d = 0{,}74 \div 5{,}20$ $a = 0{,}90 \div 5{,}60$ $b = 2{,}12 \div 12{,}5$
ПСДК-Л	То же, но с поверхностным лаковым слоем	H	$d = 1{,}00 \div 5{,}20$ $a = 0{,}90 \div 5{,}60$ $b = 0{,}315 \div 2{,}12$
ПСДКТ	То же, но с уменьшенной толщиной	H	$d = 0{,}315 \div 2{,}12$ $a = 0{,}90 \div 3{,}55$ $b = 2{,}12 \div 10{,}0$

* Провод для механизированной намотки статоров электродвигателей серии 4А.

Марка провода	Характеристика изоляции	Класс нагревостойкости	Диапазон размеров проволоки, мм
ПСДКТ-Л	То же, но с поверхностным лаковым слоем	H	$d=0{,}315\div2{,}12$ $a=0{,}90\div3{,}55$ $b=2{,}12\div10{,}0$
ПСД-1	Бесщелочное стекловолокно, наложенное двумя слоями с подклейкой и пропиткой термореактивным лаком	F	$a=0{,}90\div5{,}60$ $b=2{,}12\div12{,}5$
ПСДП	То же, но провод полый	F	$a=3{,}55\div6{,}00$ $b=5{,}0\div12{,}5$

5. Размеры круглой проволоки для обмоточных проводов

Таблица 11

Обозначения: d — диаметр проволоки, мм, S — сечение, мм²

d	*S*	*d*	*S*	*d*	*S*	*d*	*S*
0,120	0,0113	0,350	0,0962	0,71	0,396	1,35	1,43
0,125	0,0123	0,355	0,0990	0,72	0,407	1,40	1,54
0,130	0,0133	0,380	0,113	0,74	0,430	1,45	1,65
0,140	0,0154	0,400	0,126	0,75	0,442	1,50	1,77
0,150	0,0177	0,410	0,132	0,77	0,466	1,56	1,91
0,160	0,0201	0,425	0,142	0,80	0,503	1,60	2,01
0,170	0,0227	0,440	0,152	0,83	0,541	1,62	2,06
0,180	0,0254	0,450	0,159	0,85	0,567	1,68	2,22
0,190	0,0284	0,470	0,173	0,86	0,581	1,70	2,27
0,200	0,0314	0,475	0,177	0,90	0,636	1,74	2,38
0,210	0,0346	0,490	0,189	0,93	0,679	1,80	2,54
0,224	0,0394	0,500	0,196	0,95	0,709	1,81	2,57
0,230	0,0415	0,510	0,204	0,96	0,724	1,88	2,78
0,236	0,0437	0,530	0,221	1,00	0,785	1,90	2,84
0,250	0,0491	0,550	0,238	1,04	0,849	1,95	2,99
0,265	0,0552	0,560	0,246	1,06	0,882	2,00	3,14
0,270	0,0573	0,570	0,255	1,08	0,916	2,02	3,20
0,280	0,0616	0,590	0,273	1,12	0,985	2,10	3,46
0,290	0,0661	0,600	0,283	1,16	1,06	2,12	3,53
0,300	0,0707	0,620	0,302	1,18	1,09	2,24	3,94
0,310	0,0755	0,630	0,312	1,20	1,13	2,26	4,01
0,315	0,0779	0,640	0,322	1,25	1,23	2,36	4,37
0,330	0,0855	0,670	0,353	1,30	1,33	2,44	4,68
0,335	0,0881	0,690	0,374	1,32	1,37	2,50	4,91

6. Размеры медной проволоки прямоугольного сечения

Таблица 12

Обозначения: *a* — меньшая сторона (толщина), мм, *b* — бо́льшая сторона (ширина), мм, *S* — сечение с учетом скругления углов, мм²

a	*b*	*S*
0,8	2,00	1,46
	2,12	1,56
	2,24	1,66
	2,36	1,75
	2,50	1,86
	2,65	1,98
	2,80	2,10
	3,00	2,26
	3,15	2,38
	3,35	2,54
	3,55	2,70
	3,75	2,86
	4,00	3,06
	4,25	3,26
	4,50	3,46
	4,75	3,66
	5,00	3,86
	5,30	4,10
	5,60	4,34
	6,00	4,66
	6,30	4,90
0,85	2,00	1,55
	2,24	1,75
	2,50	1,97
	2,80	2,23
	3,15	2,52
	3,55	2,86
	4,00	3,25
	4,50	3,67
	5,00	4,10
	5,60	4,61
	6,30	5,20
0,90	2,00	1,63
	2,12	1,73
	2,24	1,84
	2,36	1,95
	2,50	2,08
	2,65	2,11
	2,80	2,35
	3,00	2,53
	3,15	2,66
0,90	3,35	2,84
	3,55	3,02
	3,75	3,20
	4,00	3,43
	4,25	3,65
	4,50	3,88
	4,75	4,10
	5,00	4,33
	5,30	4,60
	5,60	4,87
	6,00	5,23
	6,30	5,50
	6,70	5,86
	7,10	6,22
0,95	2,00	1,71
	2,24	1,93
	2,50	2,18
	2,80	2,47
	3,15	2,80
	3,55	3,18
	4,00	3,61
	4,50	4,08
	5,00	4,57
	5,60	5,13
	6,30	5,79
	7,10	6,55
1,00	2,00	1,79
	2,12	1,91
	2,24	2,03
	2,36	2,15
	2,50	2,29
	2,65	2,44
	2,80	2,59
	3,00	2,79
	3,15	2,94
	3,35	3,14
	3,55	3,34
	3,75	3,54
	4,00	3,79
	4,25	4,04
	4,50	4,29
	4,75	4,54
	5,00	4,79
1,00	5,30	5,09
	5,60	5,39
	6,00	5,79
	6,30	6,09
	6,70	6,49
	7,10	6,89
	7,50	7,29
	8,00	7,79
1,06	2,00	1,91
	2,24	2,16
	2,50	2,44
	2,80	2,75
	3,15	3,12
	3,55	3,55
	4,00	4,03
	4,50	4,56
	5,00	5,09
	5,60	5,72
	6,30	6,46
	7,10	7,31
	8,00	8,27
1,08	8,60	9,08
1,12	2,00	2,03
	2,12	2,16
	2,24	2,29
	2,36	2,43
	2,50	2,59
	2,65	2,75
	2,80	2,92
	3,00	3,15
	3,15	3,31
	3,35	3,54
	3,55	3,76
	3,75	3,99
	4,00	4,27
	4,25	4,55
	4,50	4,83
	4,75	5,11
	5,00	5,39
	5,30	5,72
	5,60	6,06

a	b	S
1,12	6,00	6,51
	6,30	6,84
	6,70	7,29
	7,10	7,74
	7,50	8,19
	8,00	8,75
	8,50	9,31
	9,00	9,87
1,18	2,00	2,15
	2,24	2,43
	2,50	2,74
	2,80	3,09
	3,15	3,50
	3,55	3,97
	4,00	4,51
	4,50	5,10
	5,00	5,69
	5,60	6,39
	6,30	7,22
	7,10	8,16
	8,00	9,23
	9,00	10,41
1,25	2,00	2,29
	2,12	2,44
	2,24	2,59
	2,36	2,74
	2,50	2,91
	2,65	3,10
	2,80	3,29
	3,00	3,54
	3,15	3,72
	3,35	3,97
	3,55	4,22
	3,75	4,47
	4,00	4,79
	4,25	5,10
	5,50	5,41
	4,75	5,72
	5,00	6,04
	5,30	6,41
	5,60	6,79
	6,00	7,29
	6,30	7,66
	6,70	8,16
	7,10	8,66
	7,50	9,16
	8,00	9,79
	8,50	10,41
1,25	9,00	11,04
	9,50	11,66
	10,00	12,29
1,32	2,00	2,43
	2,24	2,74
	2,50	3,09
	2,80	3,48
	3,15	3,94
	3,55	4,47
	4,00	5,07
	4,50	5,73
	5,00	6,39
	5,60	7,18
	6,30	8,10
	7,10	9,16
	8,00	10,35
	9,00	11,67
	10,00	12,99
1,40	2,00	2,59
	2,12	2,75
	2,24	2,92
	2,36	3,09
	2,50	3,29
	2,65	3,50
	2,80	3,71
	3,00	3,99
	3,15	4,20
	3,35	4,48
	3,55	4,76
	3,75	5,04
	4,00	5,39
	4,25	5,74
	4,50	6,09
	4,75	6,44
	5,00	6,79
	5,30	7,21
	5,60	7,63
	6,00	8,19
	6,30	8,61
	6,70	9,17
	7,10	9,73
	7,50	10,29
	8,00	10,99
	8,50	11,69
	9,00	12,39
	9,50	13,09
	10,00	13,79
1,40	10,60	14,63
	11,20	15,47
1,50	2,24	3,15
	2,50	3,54
	2,80	3,99
	3,15	4,51
	3,55	5,11
	4,00	5,79
	4,50	6,54
	5,00	7,29
	5,60	8,19
	6,30	9,24
	7,10	10,44
	8,00	11,79
	9,00	13,23
	10,00	14,79
	11,20	16,59
	12,50	18,50
1,60	2,24	3,37
	2,36	3,56
	2,50	3,79
	2,65	4,03
	2,80	4,27
	3,00	4,59
	3,15	4,83
	3,35	5,15
	3,55	5,47
	3,75	5,79
	4,00	6,19
	4,25	6,59
	4,50	6,99
	4,75	7,39
	5,00	7,79
	5,30	8,27
	5,60	8,75
	6,00	9,39
	6,30	9,87
	6,70	10,51
	7,10	11,15
	7,50	11,79
	8,00	12,59
	8,50	13,39
	9,00	14,19
	9,50	14,99
	10,00	15,79
	10,60	16,75
	11,20	17,71

Продолжение табл. 12

a	b	S
1,60	11,80	18,67
	12,50	19,79
1,70	2,50	3,89
	2,80	4,40
	3,15	4,99
	3,55	5,67
	4,00	6,44
	4,50	7,29
	5,00	8,14
	5,60	9,16
	6,30	10,35
	7,10	11,71
	8,00	13,24
	9,00	14,94
	10,00	16,44
	11,20	18,68
	12,50	20,89
1,80	2,50	4,14
	2,65	4,41
	2,80	4,68
	3,00	5,04
	3,15	5,31
	3,35	5,67
	3,55	6,03
	3,75	6,39
	4,00	6,84
	4,25	7,29
	4,50	7,74
	4,75	8,19
	5,00	8,64
	5,30	9,18
	6,00	10,44
	6,30	10,98
	6,70	11,70
	7,10	12,42
	7,50	13,14
	8,00	14,04
	8,50	14,94
	9,00	15,84
	9,50	16,74
	10,00	17,64
	10,60	18,72
	11,20	19,80
	11,80	20,88
	12,50	22,14
	13,20	23,40
	14,00	24,84

a	b	S
1,81	4,40	7,75
	6,90	12,27
1,90	2,80	4,96
	3,15	5,62
	3,55	6,38
	4,00	7,24
	4,50	8,19
	5,00	9,14
	5,60	10,28
	6,30	11,61
	7,10	13,13
	8,00	14,84
	9,00	16,74
	10,00	18,64
	11,20	20,92
	12,50	23,39
	14,00	26,24
2,00	2,80	5,24
	3,00	5,64
	3,15	5,94
	3,35	6,34
	3,55	6,74
	3,75	7,14
	4,00	7,64
	4,25	8,14
	4,50	8,64
	4,75	9,14
	5,00	9,64
	5,30	10,24
	5,60	10,84
	6,00	11,64
	6,30	12,24
	6,70	13,04
	7,10	13,84
	7,50	14,64
	8,00	15,64
	8,50	16,64
	9,00	17,64
	9,50	18,64
	10,00	19,64
	10,60	20,84
	11,20	22,04
	11,80	23,24
	12,50	24,64
	13,20	26,04
	14,00	27,64
	15,00	29,64
	16,00	31,64

a	b	S
2,12	3,15	6,32
	3,55	7,16
	4,00	8,12
	4,50	9,18
	5,00	10,24
	5,60	11,51
	6,30	12,99
	7,10	14,69
	8,00	16,60
	9,00	18,72
	10,00	20,84
	11,20	23,38
	12,50	26,14
	14,00	29,32
	16,00	33,56
2,24	3,15	6,69
	3,35	7,14
	3,55	7,59
	3,75	8,04
	4,00	8,60
	4,25	9,16
	4,50	9,72
	4,75	10,28
	5,00	10,84
	5,30	11,51
	5,60	12,18
	6,00	13,08
	6,30	13,75
	6,70	14,65
	7,10	15,54
	7,50	16,44
	8,00	17,56
	8,50	18,68
	9,00	19,80
	9,50	20,92
	10,00	22,04
	10,60	23,38
	11,20	24,73
	11,80	26,07
	12,50	27,64
	13,20	29,21
	14,00	31,00
	15,00	33,24
	16,00	35,48
2,36	3,55	7,83
	4,00	8,89
	4,50	10,07
	5,00	11,25

a	b	S
2,36	5,60	12,67
	6,30	14,32
	7,10	16,21
	8,00	18,33
	9,00	20,69
	10,00	23,05
	11,20	25,88
	12,50	28,95
	14,00	32,49
	16,00	37,21
2,50	3,55	8,33
	3,75	8,83
	4,00	9,45
	4,25	10,08
	4,50	10,70
	4,75	11,33
	5,00	11,95
	5,30	12,70
	5,60	13,45
	6,00	14,45
	6,30	15,20
	6,70	16,20
	7,10	17,20
	7,50	18,20
	8,00	19,45
	8,50	20,70
	9,00	21,95
	9,50	23,20
	10,00	24,45
	10,60	25,95
	11,20	27,45
	11,80	28,95
	12,50	30,70
	13,20	32,45
	14,00	34,45
	15,00	36,95
	16,00	39,45
	20,00	49,52
2,65	4,00	10,05
	4,50	11,38
	5,00	12,70
	5,60	14,29
	6,30	16,15
	7,10	18,27
	8,00	20,65
	9,00	23,30
2,65	10,00	25,95
	11,20	29,13
	12,50	32,58
	14,00	36,55
	16,00	41,85
2,80	4,00	10,65
	4,25	11,35
	4,50	12,05
	4,75	12,75
	5,00	13,45
	5,30	14,29
	5,60	15,13
	6,00	16,25
	6,30	17,09
	6,70	18,21
	7,10	19,33
	7,50	20,45
	8,00	21,85
	8,50	23,25
	9,00	24,65
	9,50	26,05
	10,00	27,45
	10,60	29,13
	11,20	30,81
	11,80	32,49
	12,50	34,45
	13,20	36,41
	14,00	38,65
	15,00	41,45
	16,00	44,25
3,00	4,50	12,95
	5,00	14,45
	5,60	16,25
	6,30	18,35
	7,10	20,75
	8,00	23,45
	9,00	26,45
	10,00	29,45
	11,20	33,05
	12,50	36,95
	14,00	41,45
	16,00	47,45
	20,00	59,52
	25,00	74,52
3,15	4,50	16,63
	4,75	14,41
	5,00	15,20
	5,30	16,15
	5,60	17,09
	6,00	18,35
	6,30	19,30
	6,70	20,56
	7,10	21,82
	7,50	23,08
	8,00	24,65
	8,50	26,23
	9,00	27,80
	9,50	29,38
	10,00	30,95
	10,60	32,84
	11,20	34,73
	11,80	36,62
	12,50	38,83
	13,20	41,03
	14,00	43,55
	15,00	46,70
	16,00	49,85
3,35	5,00	16,20
	5,60	18,21
	6,30	20,56
	7,10	23,24
	8,00	26,25
	9,00	29,60
	10,00	32,95
	11,20	36,97
	12,50	41,33
	14,00	46,35
	16,00	53,05
3,55	5,00	17,20
	5,30	18,27
	5,60	19,33
	6,00	20,75
	6,30	21,82
	6,70	23,24
	7,10	24,66
	7,50	26,08
	8,00	27,85
	8,50	29,63
	9,00	31,40
	9,50	33,18
	10,00	34,95
	10,60	37,08

a	b	S
3,55	11,20	39,21
	11,80	41,34
	12,50	43,83
	13,20	46,31
	14,00	49,15
	15,00	52,70
	16,00	56,25
3,75	5,00	20,14
	6,30	22,77
	7,10	25,77
	8,00	29,14
	9,00	32,89
	10,00	36,64
	11,20	41,14
	12,50	46,02
	14,00	51,64
	16,00	59,14
4,00	5,60	21,54
	6,00	23,14
	6,30	24,34
	6,70	25,94
	7,10	27,54
	7,50	29,14
	8,00	31,14
	8,50	33,14
	9,00	35,14
	9,50	37,14
	10,00	39,14
	10,60	41,54
	11,20	43,94
	11,80	46,34
	12,50	49,14
	13,20	51,94
	14,00	55,14
	15,00	59,14
	16,00	63,14
	20,00	79,52
	25,00	99,52
	28,00	111,9
	30,00	119,5
4,25	6,30	25,92
	7,10	29,32
	8,00	33,14

a	b	S
4,25	9,00	37,39
	10,00	41,64
	11,20	46,74
	12,50	52,27
	14,00	58,64
	16,00	67,14
4,40	6,90	25,90
4,50	6,30	27,49
	6,70	29,29
	7,10	31,09
	7,50	32,89
	8,00	35,14
	8,50	37,39
	9,00	39,64
	9,50	41,89
	10,00	44,14
	10,60	46,84
	11,20	49,54
	11,80	52,24
	12,50	55,39
	13,20	58,54
	14,00	62,14
	15,00	66,64
	16,00	71,4
4,75	7,10	32,87
	8,00	37,14
	9,00	41,89
	10,00	46,64
	11,20	52,34
	12,50	58,52
	14,00	65,64
	16,00	75,14
5,00	7,10	34,64
	7,50	36,64
	8,00	39,14
	8,50	41,64
	9,00	44,14
	9,50	46,64
	10,00	49,14
	10,60	52,14
	11,20	55,14

a	b	S
5,00	11,80	58,14
	12,50	61,64
	13,20	65,14
	14,00	69,14
	15,00	74,14
	16,00	79,14
	20,00	99,14
	25,00	124,1
	30,00	149,1
5,30	8,00	41,54
	9,00	46,84
	10,00	52,14
	11,20	58,50
	12,50	65,39
	14,00	73,94
	16,00	83,34
5,60	8,00	43,94
	8,50	46,74
	9,00	49,54
	9,50	52,34
	10,00	55,14
	10,60	58,50
	11,20	61,86
	11,80	65,22
	12,50	69,14
	13,20	73,06
	14,00	77,54
	15,00	83,14
	16,00	88,74
0,5	2,80	1,35
	4,40	2,15
	8,80	4,34
1,0	6,90	6,69
	7,40	7,19
1,08	3,80	3,89

Продолжение табл. 12

a	b	S
1,16	3,05	3,33
	3,28	3,60
	6,90	7,79
1,25	4,40	5,29
	5,50	6,66
	6,90	8,41
1,35	6,90	9,10
	8,00	10,60
1,45	3,05	4,21
	3,80	5,30
	8,00	11,40
1,56	6,40	9,77
	6,90	10,55
	8,00	12,30
	9,30	14,30
1,68	6,90	11,38
1,81	4,10	7,21
	9,30	16,62
	15,60	28,02
1,95	2,63	4,92
	5,50	10,51
	6,90	13,20
	16,80	32,55
	18,00	34,74
	19,50	37,60
2,10	6,40	12,96
	6,90	14,02
	7,40	15,06
	8,60	17,58
	9,30	19,05

a	b	S
2,10	14,50	30,00
	16,80	34,80
	18,00	37,32
	19,50	40,60
2,26	3,53	7,49
	6,90	15,11
	16,80	37,48
	18,00	40,20
	19,50	43,60
2,44	5,10	11,96
	9,30	22,21
	16,80	40.51
	18,00	43,44
	19,50	47,10
2,50	4,20	10,02
	18,00	44,40
2,63	2,63	6,43
	3,28	8,14
	5,50	14,00
	6,90	17,66
	16,80	43,70
	18,00	46,86
	19,50	50,80
	20,00	52,12

a	b	S
2,83	3,05	8,15
	3,28	8,80
	3,53	9,51
	3,80	10,27
	6,40	17,66
	6,90	19,04
	16,80	47,06
	18,00	50,46
	19,50	54,70
	22,00	61,78
3,00	18,00	53,40
3,06	3,28	9,52
	4,70	13,85
	7,40	22,09
	16,80	50,70
	18,00	54,42
	19,50	59,00
	22,00	66,62
3,28	6,40	20,51
	16,80	54,62
	18,00	58,56
	19,50	63,48
	22,00	71,68

a	b	S
3,53	4,40	15,05
	6,90	23,87
	7,40	25,64
	11,60	40,46
	16,80	58,82
	18,00	63,06
	19,50	68,35
	22,00	77,18
3,55	18,00	63,40
3,75	11,80	43,40
	19,50	72,26
3,80	6,90	25,74
	16,80	63,36
	18,00	67,92
	19,50	73,62
	22,00	83,12
4,00	18,00	71,10
4,10	16,80	68,02
	18,00	72,94
	19,50	79,09
	22,00	89,34
4,40	16,80	73,06
	18,00	78,34
	19,50	84,94
	22,00	95,94
4,70	3,05	13,85
	16,80	78,10
	18,00	83,74
	19,50	90,79
	22,00	102,54
	25,00	116,40
5,10	16,80	84,82
	18,00	90,94
	19,50	98,59
5,10	22,00	111,30
	28,00	141,94
5,50	7,40	39,84
	9,30	50,29
	16,80	91,54
	25,00	136,64
5,60	18,00	99,70
	22,00	123,10
6,00	6,90	40,54
	8,00	47,14
	16,80	99,94
	22,00	131,14
	25,00	149,14
7,00	8,00	55,14
	9,30	64,24
	10,00	69,10
8,00	10,00	79,14

Примечания: 1. Размеры проволоки, помещенные в таблице (a=0,5; 1,0; 1,08, ...) ниже жирной черты, в новых изделиях применять не разрешается. 2. Для электротехнических целей кроме проволоки изготовляют медные ленты с размерами $a=0{,}1\div3{,}53$ мм, $b=8\div100$ мм и шины с размерами $a=4\div30$ мм, $b=16\div120$ мм.

7. Диаметры обмоточных проводов

Диаметры проводов с эмалевой, стекловолокнистой и эмалево-волокнистой изоляцией приведены в табл. 13—16.

Таблица 13. *Диаметры круглых медных проводов с эмалевой изоляцией*

Обозначения: *d* — номинальный диаметр проволоки, мм, *D* — максимальный наружный диаметр провода, мм

d	*D* для марок				
	ПЭВ-2	ПЭМ-2	ПЭТ-155	ПЭТВ-2	ПЭТВМ
0,050	0,080	0,080	—	—	—
0,060	0,090	0,090*	0,090	0,084	—
0,063	0,090	0,093	0,090	0,084	—
0,070	—	0,100*	—	—	—
0,071	0,100	0,101	0,100	0,094	—
0,080	0,110	0,110	0,110	0,104	—
0,090	0,120	0,120	0,120	0,116	—
0,100	0,130	0,130	0,130	0,128	—
0,110	—	0,140*	0,140	—	—
0,112	0,140	0,142	—	0,140	—
0,120	0,150	0,150*	0,150	0,150	—
0,125	0,155	0,155	0,155	0,154	—
0,130	0,160	0,160*	0,160	0,160	—
0,140	0,170	0,170	0,170	0,170	—
0,150	0,190	0,19*	0,190	0,190	—
0,160	0,200	0,20	0,200	0,198	—
0,170	0,210	0,21	0,210	0,210	—
0,180	0,220	0,22	0,220	0,220	—
0,190	0,230	0,23*	0,230	0,230	—
0,200	0,240	0,240	0,240	0,240	—
0,210	0,250	0,250*	0,260	0,250	—
0,224	0,270	0,264	0,270	0,264	—
0,230	—	0,280*	—	—	—
0,236	0,285	—	0,285	0,286	—
0,250	0,300	0,300	0,300	0,300	0,310
0,265	0,315	—	0,315	0,314	0,325
0,270	—	0,320*	—	—	—
0,280	0,330	0,330	0,330	0,330	0,340
0,290	—	0,340*	—	—	—
0,300	0,350	—	0,350	0,350	0,360
0,310	—	0,360*	—	—	—
0,315	0,365	0,365	0,365	0,364	0,375
0,330	—	0,380*	—	—	—
0,335	0,385	—	0,385	0,384	0,395
0,350	—	0,410*	—	—	—
0,355	0,415	0,415	0,405	0,414	0,425
0,380	0,440	0,440*	0,440	0,440	0,450
0,400	0,460	0,460	0,460	0,460	0,470

d	D для марок				
	ПЭВ-2	ПЭМ-2	ПЭТ-155	ПЭТВ-2	ПЭТВМ
0,410	—	0,470*	—	—	—
0,425	0,485	—	0,490	0,484	0,495
0,440	—	0,500*	—	—	—
0,450	0,510	0,510	0,520	0,510	0,520
0,470	—	0,530*	—	—	—
0,475	0,545	—	0,545	0,534	0,545
0,490	—	0,55*	—	—	—
0,500	0,570	0,57	0,570	0,560	0,580
0,510	—	0,58*	—	—	—
0,530	0,600	0,60*	0,600	0,600	0,610
0,550	—	0,62*	—	—	—
0,560	0,630	0,63	0,630	0,630	0,640
0,570	—	0,64*	—	—	—
0,590	—	0,66*	—	—	—
0,600	0,670	—	0,670	0,670	0,680
0,620	—	0,69*	—	—	—
0,630	0,700	0,70	0,710	0,700	0,720
0,640	—	0,72*	—	—	—
0,670	0,750	0,75*	0,750	0,750	0,760
0,690	0,77*	0,77*	0,770	0,770*	0,780*
0,710	0,790	0,79	0,790*	0,790	0,800
0,720	—	0,80*	—	—	—
0,740	—	0,83*	—	—	—
0,750	0,840	0,84	0,830	0,830	0,840
0,770	0,860*	0,86*	0,850*	0,850*	0,860*
0,800	0,890	0,89	0,890	0,880	0,890
0,830	0,920*	0,92*	0,920*	0,910*	0,920*
0,850	0,940	0,94	0,940	0,930	0,940
0,860	—	0,95*	—	—	—
0,90	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
0,93	1,02	1,02*	1,02*	1,02*	1,02*
0,95	1,04*	1,04	1,04	—	1,04
0,96	—	1,05*	—	1,04	—
1,00	1,10	1,11	1,09	1,09	1,11
1,04	—	1,15*	—	—	—
1,06	1,16	1,17	1,16	1,15	1,17
1,08	1,18*	1,19*	1,18*	1,17*	1,19*
1,12	1,22	1,23	1,22	1,21	1,23
1,16	—	1,27*	—	—	—
1,18	1,28	1,29	1,28	1,27	1,29
1,20	—	1,31*	—	—	—
1,25	1,35	1,36	1,35	1,35	1,36
1,30	—	1,41*	—	—	—
1,32	1,42	1,43	1,42	1,42	1,43
1,35	—	1,46*	—	—	—
1,40	1,51	1,51	1,51	1,50	1,51
1,45	1,56*	1,56*	1,56*	1,55*	—
1,50	1,61	1,61	1,61	1,60	—

d	*D* для марок				
	ПЭВ-2	ПЭМ-2	ПЭТ-155	ПЭТВ-2	ПЭТВМ
1,56	1,67*	1,67*	1,67*	1,67*	—
1,60	1,71	1,71	1,71	1,71	—
1,62	—	1,73*	—	—	—
1,68	—	1,79*	—	—	—
1,70	1,81	1,81	1,81	1,81	—
1,74	—	1,85*	—	—	—
1,80	1,92	1,92	1,92	1,91	—
1,81	—	1,93*	—	—	—
1,88	—	2,00*	—	—	—
1,90	2,02	2,02	2,02	2,01	—
1,95	—	2,07*	—	—	—
2,00	2,12	2,12	2,12	2,12	—
2,02	—	2,14*	—	—	—
2,10	—	2,23*	—	—	—
2,12	2,24	2,25	2,24	2,24	—
2,24	2,37	2,37	2,37	2,36	—
2,26	—	2,39*	—	—	—
2,36	2,49	2,49	2,49	2,48	—
2,44	2,57*	2,57*	2,57*	2,56*	—
2,50	2,63	2,63	2,63	2,63	—

* В новых изделиях применять не разрешается.

Таблица 14. Диаметры круглых алюминиевых проводов с эмалевой изоляцией марок ПЭВА, ПЭВАт (диаметры проволоки 0,08÷0,8 мм для проводов ПЭВАт, а 0,5÷2,5 мм для проводов ПЭВА)

Обозначения: *d* — номинальный диаметр проволоки, мм,
D — максимальный диаметр провода, мм

d	*D*	*d*	*D*	*d*	*D*	*d*	*D*
0,080	0,105	0,280	0,320	0,85	0,92	1,60	1,70
0,090	0,115	0,315	0,355	0,90	0,97	1,70	1,80
0,100	0,125	0,355	0,395	0,95	1,02	1,80	1,91
0,112	0,137	0,400	0,450	1,00	1,09	1,90	2,01
0,125	0,150	0,450	0,500	1,06	1,15	2,00	2,11
0,140	0,165	0,500	0,550	1,12	1,21	2,12	2,23
0,160	0,190	0,560	0,610	1,18	1,27	2,24	2,35
0,180	0,210	0,630	0,690	1,25	1,34	2,36	2,47
0,200	0,230	0,710	0,770	1,32	1,41	2,50	2,61
0,224	0,264	0,750	0,820	1,40	1,49		
0,250	0,290	0,800	0,870	1,50	1,59		

Таблица 15. Диаметры проводов со стекловолокнистой изоляцией

Обозначения: d — номинальный диаметр проволоки, мм, D — максимальный наружный диаметр провода, мм

d	D для марок					
	ПСД, ПСДК	ПСДТ	ПСДКТ	ПСД-Л, ПСДК-Л	ПСДТ-Л	ПСДКТ-Л
0,315	—	0,50	0,46	—	0,48	0,48
0,335	—	0,52	0,48	—	0,50	0,50
0,355	—	0,54	0,50	—	0,52	0,52
0,380	—	0,57	0,53	—	0,55	0,55
0,400	—	0,59	0,55	—	0,57	0,57
0,425	—	0,62	0,58	—	0,60	0,60
0,450	—	0,64	0,60	—	0,62	0,62
0,475	—	0,67	0,62	—	0,65	0,65
0,500	0,74*	0,69	0,65	—	0,67	0,67
0,530	—	0,73	0,70	—	0,70	0,70
0,560	0,82*	0,76	0,73	—	0,73	0,73
0,600	—	0,80	0,77	—	0,77	0,77
0,630	0,89*	0,83	0,80	—	0,80	0,80
0,670	—	0,87	0,84	—	0,84	0,84
0,690*	—	0,89	0,86	—	0,86	0,86
0,710	0,98*	0,93	0,89	—	0,89	0,89
0,750	1,02*	0,97	0,93	—	0,93	0,93
0,770*	—	0,99	0,95	—	0,95	0,95
0,800	1,07*	1,02	0,98	—	0,98	0,98
0,830*	—	1,05	1,01	—	1,01	1,01
0,850	1,12*	1,07	1,03	—	1,03	1,03
0,900	1,17*	1,12	1,08	—	1,08	1,08
0,930*	—	1,15	1,11	—	1,11	1,11
0,950	1,22*	1,17	1,13	—	1,13	1,13
1,000	1,29	1,23	1,20	1,29	1,22	1,22
1,060	1,35	1,23	1,26	1,35	1,28	1,28
1,080*	1,37	1,31	1,28	1,37	1,30	1,30
1,120	1,41	1,35	1,32	1,41	1,34	1,34
1,180	1,47	1,41	1,38	1,47	1,40	1,40
1,250	1,54	1,48	1,45	1,54	1,47	1,47
1,320	1,61	1,55	1,52	1,61	1,54	1,54
1,400	1,69	1,63	1,60	1,69	1,62	1,62
1,450*	1,74	1,68	1,65	1,74	1,67	1,67
1,500	1,79	1,73	1,70	1,79	1,72	1,72
1,560*	1,85	1,79	1,76	1,85	1,78	1,78
1,600	1,89	1,85	1,84	1,89	1,85	1,82
1,700	1,99	1,95	1,94	1,99	1,95	1,92
1,800	2,09	2,05	2,04	2,09	2,05	2,02
1,900	2,19	2,15	2,14	2,19	2,15	2,12
2,000	2,29	2,25	2,24	2,29	2,25	2,22
2,120	2,41	2,37	2,36	2,41	2,37	2,34

* В новых изделиях применять не разрешается.

Таблица 16. Толщина изоляции круглых проводов с эмалево-волокнистой изоляцией

Марка провода	Двусторонняя максимальная толщина изоляции, мм, при диаметре проволокн, мм							
	0,05—0,19	0,20—0,25	0,265—0,425	0,45—0,71	0,75—0,95	1,00—1,45	1,50—1,60	1,70—2,12
ПЭШО	0,08	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	—
ПЭЛО	—	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	—	—
ПЭБО	—	—	0,17	0,17	0,18	0,21	0,21	0,22

Примечание. Диаметры проводов с эмалево-волокнистой изоляцией определяются путем суммирования диаметра проволоки и толщины изоляции.

8. Марки проводов для выводов электрических машин

Таблица 17

Марка	Характеристика провода	Преимущественная область применения
ПВБЛ	С изоляцией из резины на основе бутилкаучука в оплетке из лавсановой нити	При напряжении до 660 В и при отсутствии воздействия агрессивных сред и масел. Нагревостойкость 105 °С
ПВВТ	С изоляцией из поливинилхлоридного пластиката, теплостойкий	При напряжении 380 В в условиях агрессивных сред, масел и дизельного топлива. Нагревостойкость 105 °С
ПВКФ	С изоляцией из кремнийорганической резины во фторосилоксановой оболочке	При напряжении 380 и 660 В в условиях агрессивной среды и масел. Нагревостойкость 155 °С
ПВФС	С изоляцией из фторосилоксановой резины	При напряжении 660 и 1140 В (частота до 60 Гц) в условиях агрессивных сред, масел и дизельного топлива. Нагревостойкость 155 °С
ПВКВ	С изоляцией и оболочкой из кремнийорганической резины	При напряжении 380 и 660 В и при отсутствии воздействия агрессивных сред и масел. Нагревостойкость 180 °С

Марка	Характеристика провода	Преимущественная область применения
РКГМ	С изоляцией из кремнийорганической резины, в оплетке из стекловолокна, пропитанной эмалью или термостойким лаком	При напряжении 660 В и при отсутствии воздействия агрессивных сред и масел. Нагревостойкость 180 °С
РКГМПТ	С изоляцией из кремнийорганической резины повышенной теплостойкости, в оплетке из стекловолокна, пропитанной эмалью или лаком	То же, но нагревостойкость 200 °С

Примечания: 1. Частота тока допускается до 400 Гц. 2. Поверх токопроводящей жилы провода марки ПВБЛ может быть наложена полиэтилентерефталатная пленка толщиной не более 0,02 мм. 3. На токопроводящей жиле готовых проводов допускаются цвета побежалости, темный налет. 4. Провода марок ПВВТ и ПВБЛ стойки к воздействию окружающей пониженной температуры до —40 °С, а остальные — до —60 °С. 5. Изоляция проводов не должна быть приваренной к жиле и при зачистке концов должна сниматься. 6. Монтаж провода без предварительного нагрева должен производиться при температуре не ниже —15 °С. Минимальный радиус изгиба при монтаже — два диаметра.

9. Диаметры проводов для выводов электрических машин

Таблица 18

Номинальное сечение, мм²	Номинальный наружный диаметр, мм, проводов марок						
	ПВВТ	ПВКВ, ПВКФ, на напряжение, В		ПВБЛ	РКГМ, РКГМПТ	ПВФС на напряжение, В	
		380	660			660	1140
0,75	2,5	2,8	3,6	—	3,2	3,6	4,0
1,0	2,7	2,9	3,7	—	3,3	3,7	4,1
1,5	3,1	3,3	4,1	—	3,7	4,1	4,5
2,5	3,5	4,1	4,5	4,5	4,3	4,5	4,9
4,0	4,3	4,7	5,1	5,1	5,1	5,1	5,5
6,0	4,8	5,2	5,6	5,6	5,6	5,6	6,0
10,0	6,5	7,1	7,5	7,3	7,3	7,3	7,7
16,0	—	8,5	8,9	8,7	8,7	8,7	9,2
25,0	—	10,5	10,9	10,7	10,7	10,7	11,2
35,0	—	11,9	12,3	12,1	12,1	12,1	12,5
50,0	—	14,9	15,3	15,1	15,1	15,1	15,5
70,0	—	16,5	16,9	—	16,7	16,7	17,1

Номинальное сечение, мм²	Номинальный наружный диаметр, мм, проводов марок						
	ПВВТ	ПВКВ, ПВКФ на напряжение, В		ПВБЛ	РКГМ, РКГМПТ	ПВФС на напряжение, В	
		380	660			660	1140
95,0	—	18,6	19,0	—	18,8	18,8	19,2
120,0	—	—	21,2	—	20,8	20,8	21,6

Примечания: 1. Предельное отклонение от номинального наружного диаметра +10 %. Минусовый допуск не нормируется. 2. На поверхности проводов марок ПВВТ, ПВКВ, ПВКФ и ПВФС не допускаются вмятины и наплывы, выводящие наружный диаметр проводов за предельные отклонения. 3. Провода поставляются в бухтах или на деревянных барабанах.

III. ИЗОЛЯЦИЯ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

10. Электроизоляционные материалы

Широкое применение в современных электрических машинах на напряжение до 1000 В находят синтетические пленки (табл. 19) и материалы, изготовленные с их применением (табл. 20).* Гибкие пленочные материалы позволяют значительно сократить толщину изоляции вследствие их высокой электрической и механической прочности, что повышает коэффициент заполнения паза.

Полиэтилентерефталатная пленка ПЭТФ применяется в первую очередь для изготовления пазовых коробов, а также крышек-клиньев и пазовых междуслойных прокладок. Короб имеет манжеты, кромки которых упираются в торец сердечника. Манжеты препятствуют смещению короба вдоль сердечника при укладке (втягивании) обмотки. Пленка ПЭТФ наиболее пригодна для механизированного изолирования пазов и машинной укладки всыпных обмоток, так как она в наибольшей степени удовлетворяет технологическим требованиям, предъявляемым к пазовым коробам.

Пазовый короб должен плотно прилегать к стенкам паза, не сминаться при укладке обмотки, быть стойким к надрыву, продавливанию, расслоению и достаточно скользким.

Полиимидная пленка ПМ применяется в электрических машинах с нагревостойкостью изоляции до 220 °С.

Фторопластовая пленка имеет высокую влагостойкость, стойкость к растворителям, воздействию химически активных сред и применяется в машинах специального исполнения (например, для работы во фреоновых компрессорах) и в тех случаях, когда нагревостойкость изоляции должна быть выше 220 °С. Однако фторопластовые пленки мягки и поэтому для пазовой изоляции их применяют в сочетании с другими, более жесткими материалами.

* Подробные сведения об электроизоляционных лакотканях, стеклотекстолитах, слюдяных, слюдинитовых и слюдопластовых материалах — см. Н. В. Никулин «Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям». М., «Высшая школа», 1982.

Таблица 19. Синтетические пленки

Наименование и марка пленки	Плотность, г/см³	Толщина, мкм	Предел прочности при растяжении, МПа	Сопротивление надрыву, Н	Электрическая прочность, кВ/мм	Нагревостойкость, °С	Внешний вид
Триацетатцеллюлозная	1,23—1,27	25; 40; 70	90—120	—	80—135	120	Непластифицированная голубого цвета; слабопластифицированная бесцветная; пластифицированная синего цвета
Полиэтилентерефталатная (лавсановая) ПЭТФ	1,3—1,4	8; 10; 12; 15; 20; 25; 35; 40; 50; 70; 100; 125; 190; 250	120—180	18—100*	70—180**	155	Глянцевая, без складок, поверхностных загрязнений, надрывов и заусенцев по краям
Полиимидная ПМ	1,42	30; 40; 50; 60; 100; 130	70—100	10—20*	50—150	220	От темно-желтого до светло-коричневого цвета
Фторопластовая Ф-4ЭО (электроизоляционная ориентированная)	2,1—2,2	10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100	Не менее 40	—	Не менее 120	260	Белого цвета полупрозрачная или матовая без складок, трещин и отверстий
Фторопластовая Ф-4ЭН (электроизоляционная неориентированная)	2,1—2,2	20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90; 100; 110; 120; 130; 140; 150	Не менее 15	—	Не менее 45	260	

* Бо́льшие значения для пленок большей толщины.

** Бо́льшие значения для пленок меньшей толщины.

Таблица 20. Композиционные материалы на основе синтетических пленок

Наименование и марка	Толщина, мм	Предел прочности при растяжении, МПа	Сопротивление надрыву, Н	Электрическая прочность, кВ/мм	Нагревостойкость, °С
Пленкосинтокартон ПСК-ЛП	0,25—0,52	60—80	—	40	130
Пленкосинтокартон ПСК-Ф	0,22—0,46	60—80	—	40	155
Пленкослюдопласт ГИП-ЛСП-ПЛ	0,35; 0,40; 0,45	—	—	25—30	155
Пленкоасбестокартон	0,3; 0,35	—	—	25—25	130
Изофлекс	0,13; 0,15; 0,17; 0,20; 0,25; 0,30; 0,40; 0,45; 0,50	70—150*	300—600*	25—100**	130
Изофлекс-3, -3Н	0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40	100	500	40	180
Имидофлекс-3	0,10; 0,13; 0,15; 0,17; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50	50—150*	200—600*	20—100**	180
Имидофлекс-5	0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50	60—100*	300—500*	20—50**	180

* Бóльшие значения для материала большей толщины.
** Бóльшие значения для материала меньшей толщины.

Композиционные материалы обладают достаточно высокими механическими свойствами. Они поставляются в рулонах и могут быть использованы при механизированном изолировании пазов.

Пленкосинтокартоны марок ПСК-Ф, ПСК-ЛП состоят из пленки ПЭТФ, оклеенной с двух сторон либо бумагой из фенилонового волокна (ПСК-Ф), либо бумагой из лавсанового волокна без пропитки (ПСК-Л) или с пропиткой (ПСК-ЛП).

Пленкослюдопласт ГИП-ЛСП-ПЛ представляет собой слой флогопитового слюдопласта, оклеенного с одной стороны стеклотканью, а с другой — пленкой ПЭТФ.

Изофлекс — это слоистая прессованная композиция из стеклянной ткани, оклеенной с двух сторон пленкой ПЭТФ толщиной 0,05 мм. Изофлекс-3 и изофлекс-3Н (отличаются связующими) — слоистая прессованная композиция из чередующихся между собой слоев пропитанной синтетическими связующими стеклоткани толщиной 0,06—0,27 мм и полиимидной пленки ПМ толщиной 0,04—0,06 мм, количество слоев которой не превышает двух.

Имидофлекс состоит из двух слоев пленки ПМ, армированных одним или несколькими слоями стеклянной ткани. Имидофлекс-3 имеет три чередующихся слоя (две пленки снаружи, стеклоткань внутри), имидофлекс-5 — пять слоев (с расположением стеклоткани снаружи). Изофлексы и имидофлексы применяют для изготовления пазовых коробов.

Для прокладок в лобовых частях применяют материалы, поверхность которых имеет повышенный коэффициент трения, в частности пленколакослюдопласт и пленкоасбестокартон используют в двигателях серии 4А.

Изолирование внутримашинных соединений и выводных концов осуществляют электроизоляционными трубками (табл. 21). В местах, где они не подвергаются изгибам, кручению и сжатию (при увязке схемы), применяют лакированные трубки марок: ТЛВ и ТЛС (на основе стеклянного чулка и масляного лака) — для машин с классом нагревостойкости изоляции А для работы в нормальных условиях окружающей среды; ТЭС — для машин с классом нагревостойкости В всех исполнений; ТКС — для машин с классом нагревостойкости F и H исполнений У и химически стойкого.

Таблица 21. Электроизоляционные трубки

Марка	Внутренний диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Характеристика трубки
ТЛВ	0,5; 0,75; 1,5; 2,0; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5—10	0,5—0,9	Хлопчатобумажные (линоксиновые), лакированные масляным светлым лаком. Нагревостойкость 105 °С
ТЛМ			То же, маслостойкие
ТПЛ	0,5; 0,75; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5—8; 9; 10	0,4—0,8	Из лавсанового шелка, пропитанные полиэфирным лаком. Маслостойкие. Нагревостойкость 105 °С
ТЭЛ	0,5; 0,75; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5—10	0,4—0,8	То же, но с нагревостойкостью 130 °С

Марка	Внутренний диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Характеристика трубки
ТЭС	1,5; 1,7; 2; 2,5; 3,5; 4; 4,5; 5; 6	0,4; 0,5	Из стеклянных нитей, пропитанные эпоксидно-полиэфирным лаком. Маслобензостойкие. Нагревостойкость 130 °С
ТКС	1,5; 1,7; 2; 2,5; 3,5; 4; 4,5; 5; 6	0,4; 0,5	Из стеклянных нитей, пропитанные кремнийорганическим лаком. Нагревостойкость 180 °С
ТКСП	1—8	0,65—0,9	Трубки из стеклянных нитей с нанесенным на их поверхность слоем кремнийорганической резины. Нагревостойкость 180 °С
ТРФ	1,2; 1,7; 2,2; 2,8; 3,8; 4,3; 4,8; 5,3; 6,4; 7,4; 8,4; 10	0,6—0,9	Трубки из фторорганической резины. Нагревостойкость 180 °С
ТКР	1; 1,5; 2,5; 3; 3,5; 4,5; 5—8; 10; 12; 14; 16; 18; 20—40	0,9—2,5	Трубки из кремнийорганической резины. Нагревостойкость 180 °С
Трубки Ф4Д и Ф4ДМ	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0—10	0,2—1,5	Трубки из фторопласта Ф4Д и Ф4ДМ. Нагревостойкость 250 °С

Примечания: 1. Пробивное напряжение трубок после 24 ч пребывания во влажной атмосфере не менее 2 кВ. 2. Минимальная длина трубки 1 м.

Трубки на основе кремнийорганических резин марок ТКР (неармированные) и ТКСП (армированные) более эластичны и сохраняют электрическую прочность при изгибах и кручении. Они имеют класс нагревостойкости Н и высокую влаго-, химо- и тропикостойкость. Армированные трубки более стойки к прокалыванию.

Трубки марки ТКР следует надевать на выпрямленный провод и без нажима, так как они не обладают достаточной упругостью и стойкостью к прокалыванию. Места паек не должны иметь острых углов. Лобовые части обмотки следует отформовать до сборки схемы.

Трубки на основе фторорганической резины марки ТРФ наиболее эластичны и стойки к перегибам.

Для механической защиты и закрепления изоляции применяют хлопчатобумажные, стеклянные и лавсановые ленты. Хлопчатобумажные ленты используются только в машинах с классом нагревостойкости изоляции А исполнения У и только в пропитанном виде.

Стеклянные ленты (табл. 22) пригодны для машин классов нагревостойкости изоляции Е, В, F и Н всех исполнений. Для уменьшения выделения из стеклянной ленты пыли при изолировании их пропитывают лаками.

Лавсановые ленты разработаны в последние годы и внедряются в производство. Они могут заменить не только стеклоленты, но и шнуры. Их можно использовать для обмоток с классом нагревостойкости изоляции Н. Лавсановые ленты не нужно пропитывать. Толщина лавсановых лент: миткалевой — 0,14 мм, батистовой — 0,15 мм, тафтяной — 0,16 мм. Наиболее часто применяемая для обмоток тафтяная лавсановая лента выпускается шириной 20, 25, 30 мм. При ширине 20 мм разрывная нагрузка такой ленты составляет 390 Н. Большим преимуществом лавсановых лент является их усадка после термообработки, в результате чего происходит дополнительная утяжка изоляции.

Для увязки и бандажирования обмоток статоров применяют хлопчатобумажные при классе нагревостойкости изоляции А и стеклянные шнур-чулки (табл. 23) при классах нагревостойкости В, F, Н.

Таблица 22. Ленты электроизоляционные из стеклянных нитей

Марка ленты	Толщина, мм	Интервал ширины, мм	Разрывная нагрузка по основе, Н	Линейная плотность, г/100 м
ЛЭС	0,08	10—40	235—785	95—385
ЛЭС	0,10	10—50	294—1128	106—565
ЛЭСБ	0,10	15—40	491—981	180—460
ЛЭС	0,15	10—50	392—1373	165—810
ЛЭСБ	0,15	15—40	598—1275	255—660
ЛЭС	0,20	10—50	491—2060	230—1090
ЛЭСБ	0,20	15—50	883—2256	330—1050
ЛЭСБ	0,25	15—40	981—2208	410—1020

Примечания: 1. Ленты вырабатываются полотняным переплетением на челночных (ЛЭС) и бесчелночных (ЛЭСБ) станках. 2. Ширина лент 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 мм.

Таблица 23. Шнур-чулок стеклянный

Марка шнур-чулка	Внутренний диаметр, мм	Толщина стенки, мм	Масса, 100 м, г	Разрывная нагрузка, Н, не менее
АСЭЧ(б)-1,0	1,0	0,30—0,35	115±6	18
АСЭЧ(б)-1,0 промытый	1,0	0,30—0,35	105±6	14
АСЭЧ(б)-2,0	2,0	0,30—0,35	180±9	28
АСЭЧ(б)-2,0 промытый	2,0	0,30—0,35	162±8	16
АСЭЧ(б)-3,5	3,5	0,30—0,35	310±15	55
АСЭЧ(б)-5,0	5,0	0,30—0,35	310±15	60
АСЭЧ(б)-6,0	6,0	0,35—0,40	450±23	80
АСЭЧ(б)-8,0	8,0	0,35—0,40	448±22	85

Примечания: 1. Марка шнур-чулка АСЭЧ(б) обозначает: А — авиационный, С — стеклянный, Э — электротехнический, б — алюмоборосиликатный состав стекла. 2. Содержание парафина после промывки чулка — в пределах 1—3 %.

В качестве бандажей роторных обмоток применяют стеклобандажные нетканые ленты марок ЛСБ-В (класс изоляции В) и ЛСБ-F (класс изоляции F). В этих лентах волокна идут только в продольном направлении, в результате этого после запечки их прочность на разрыв достигает 800 МПа при температуре 20 °С и 550 МПа при рабочей температуре.

11. Изоляция обмоток асинхронных двигателей единой серии 4А

В двигателях единой серии 4А с высотой оси вращения 50—132 мм обмотку статора независимо от числа полюсов выполняют однослойной всыпной (табл. 24). Двухполюсные двигатели с высотой оси вращения 160—250 мм и многополюсные с высотой оси вращения 180—250 мм имеют двухслойные или одно-двухслойные всыпные обмотки (табл. 25). В двигателях с высотой оси вращения 280—355 мм независимо от числа полюсов применены жесткие обмотки (табл. 26). Исключение составляют 10-полюсные двигатели с высотами оси вращения 280—355 мм и 12-полюсные двигатели с высотами оси вращения 315—355 мм, имеющие всыпные двухслойные обмотки (табл. 27).

Фазные роторы двигателей с высотой оси вращения 160—200 мм имеют всыпную двухслойную обмотку, а при высоте оси вращения 225—355 мм — стержневую обмотку (табл. 28). Класс нагревостойкости системы изоляции двигателей с высотой оси вращения 50—132 мм — В, а двигателей с высотой оси вращения 160—355 мм — F.

Таблица 24. Конструкция изоляции и элементы крепления обмотки статора двигателей с высотой оси вращения 50—132 мм

Рисунок	Номер позиции	Изоляция и элементы крепления	Материал		Число слоев
			Наименование, марка	Толщина, мм	
	1	Коробка пазовая	Пленка полиэтилентерефталатная ПЭТФ	0,19* 0,25**	1
	2	Крышка пазовая	То же	0,25* 0,35**	1
	—	Прокладка междуфазовая в лобовых частях	Пленкоасбестокартон	0,35	1
	—	Изоляция внутримашинных соединений	Трубка изоляционная ТКСП	—	—
	—	Бандаж лобовых частей	Нить полиэфирная крученая	—	—
	—	Пропитка	Лак МЛ-92 или компаунд КП-34	—	—
	—	Покрытие лобовых частей	Эмаль ГФ-92-ГС	—	—

* Для двигателей с $h_{вр} = 50 \div 63$ мм.

** Для двигателей с $h_{вр} = 71 \div 132$ мм.

Таблица 25. Конструкция изоляции и элементы крепления обмотки статора двигателей с высотой оси вращения 160—250 мм при механизированной (*а*) и ручной (*б*) укладке обмотки

Рисунок	Номер позиции	Изоляция и элементы крепления	Материал		Число слоев
			Наименование, марка	Толщина, мм	
	1	Коробка пазовая	Пленкосинтокартон ПСК-Ф или изоном	0,37—0,4	1
	2	Прокладка междуслойная	То же	0,5	1
	3	Крышка пазовая	То же	0,5	1
	4	Прокладка под клин	Стеклотекстолит СТЭФ-1	0,5	1
	5	Клин пазовый	Профильный стеклопластик СПП-Э или стеклотекстолит СТЭФ-1	—	—
	—	Прокладка междуфазовая в лобовых частях	Пленкосинтокартон ПСК-Ф или изоном	0,37—0,4	1
	—	Изоляция внутримашинных соединений и выводных концов	Трубка изоляционная ТКСП	—	—
	—	Бандаж лобовых частей	Шнур-чулок АСЭЧ(б)	—	—
	—	Пропитка	Лак ПЭ-993	—	—
	—	Покрытие лобовых частей	Эмаль ЭП-91	—	—

Таблица 26. **Конструкция изоляции и элементы крепления жесткой обмотки статора двигателей с высотой оси вращения 280—355 мм**

Рисунок	Номер позиции	Изоляция и элементы крепления	Материал		Число слоев
			Наименование, марка	Толщина, мм	
	1	Прокладка	Стеклотекстолит СТЭФ-1	0,5	1
	2	Коробка пазовая	Стеклослюдопласт ГИТ-ЛСБ-ЛСЛ	0,55	1
	3	Скрепление пазовой части полукатушки	Лента стеклянная ЛЭС или лента лавсановая тафтяная	0,20 0,16	1 (вразбежку)
	4	Прокладка междуслойная	Стеклотекстолит СТЭФ-1	1,0	1
	5	Клин пазовый		—	—
	—	Скрепление лобовой части полукатушки	Лента стеклянная ЛЭС или лента лавсановая тафтяная	0,20 0,16	1 (вполнахлеста)
	—	Изоляция лобовых частей фазных катушек	Лента слюдинитовая ЛСЭП-934-ТПл и лента лавсановая тафтяная	0,13 0,16	То же
	—	Прокладка дистанционная в лобовых частях	Стеклотекстолит СТЭФ-1	12	—
	—	Изоляция внутримашинных соединений	Стеклолакоткань ЛСТР	0,18	2 (вполнахлеста)
	—	Изоляция выводных концов	Трубка изоляционная ТКР	—	—
	—	Бандаж лобовых частей	Шнур-чулок АСЭЧ(б)	—	—
	—	Пропитка	Лак КО-964н	—	—
	—	Покрытие лобовых частей	Эмаль ЭП-91	—	—

Таблица 27. Конструкция изоляции и элементы крепления всыпной обмотки статора двигателей с высотой оси вращения 280—355 мм

Рисунок	Номер позиции	Изоляция и элементы крепления	Материал		Число слоев
			Наименование, марка	Толщина, мм	
	1	Прокладка на дно паза	Стеклотекстолит СТЭФ-1	0,5	1
	2	Коробка пазовая трехслойная	Стеклолакоткань ЛСП-130/155	0,15	—
			Электронит	0,3	1
			Слюдинит $Г_2СП$	0,2	1
	3	Прокладка междуслойная	Стеклослюдопласт ГИТ-Т-ЛСБ	0,45	1
	4	Прокладка под клин	Стеклотекстолит СТЭФ-1	0,5	1
	5	Клин пазовый	То же	—	—
	—	Прокладка междуфазовая, в лобовых частях	Стеклослюдопласт ГИТ-Т-ЛСБ	0,45	—
	—	Бандаж лобовых частей	Лента стеклянная ЛЭС или лента лавсановая тафтяная	0,2 0,16	1 (вразбежку)
	—	Привязка междуслойной прокладки на выходе из паза	Шнур-чулок АСЭЧ(б)	—	—
	—	Изоляция внутримашинных соединений	Стеклолакоткань ЛСТР	0,18	2 (вполнахлеста)
	—	Изоляция выводных концов	Трубка изоляционная ТКР,	—	—
			Стеклолакоткань ЛСТР	0,18	2 (вполнахлеста)
	—	Пропитка	Лак КО-964н	—	—
	—	Покрытие лобовых частей	Эмаль ЭП-91	—	—

Таблица 28. Конструкция и элементы крепления обмотки фазного ротора двигателей

Рисунок	Номер позиции	Изоляция и элементы крепления	Материал		Число слоев
			Наименование, марка	Толщина, мм	
		Высота оси вращения 160—200 мм			
	1	Коробка пазовая двухслойная	Пленколакослюдопласт ГИП-ЛСП-ПЛ и стеклолакоткань ЛСК-155/180*	0,4 0,15	1 1
	2	Прокладка междуслойная	Пленколакослюдопласт ГИП-ЛСП-ПЛ	0,4	1
	3	Клин пазовый	Стеклотекстолит СТЭФ-1	—	—
	—	Прокладка междуфазовая в лобовых частях	Пленколакослюдопласт ГИП-ЛСП-ПЛ	0,4	1
	—	Изоляция внутримашинных соединений и выводных концов	Трубка изоляционная ТКСП или ТКР	—	—
	—	Бандаж лобовых частей	Стеклолента бандажная ЛСБ-F	0,2	—
	—	Пропитка	Лак ПЭ-993	—	—
	—	Покрытие лобовых частей	Эмаль ЭП-91	—	—
		Высота оси вращения 225—355 мм			
	1	Коробка пазовая	Пленкостеклоткань Г-ТП-2ПХ-ПЭ-942** и стеклолакоткань ЛСП-130/155***	0,17 0,15	1 1

* Только для двигателей с $h_{вр}=200$ мм.

** Для двигателей с $h_{вр}=225\div250$ мм.

*** Для двигателей с $h_{вр}=280\div355$ мм.

Продолжение табл. 28

Рисунок	Номер позиции	Изоляция и элементы крепления	Материал		Число слоев
			Наименование, марка	Толщина, мм	
	2	Изоляция пазовой части стержня	Пленкосинтофолий ПСФ-Ф** и лента слюдинитовая ЛСЭП-934-ТПл***	0,15 0,13	$3^{1}/_{4}$ 6
	3	Прокладка	Стеклотекстолит СТЭФ-I'	0,5	1
	4	Клин пазовый	То же	—	—
	—	Изоляция лобовой части стержня	Лента стеклослюдопластовая ЛИФ-ПЭ-934-ТП**, лента слюдинитовая ЛСЭП-934-ТПл*** и лента стеклянная ЛЭС	0,13 0,13 0,1	1 (вполнахлеста) То же »
	—	Прокладка междуслойная в лобовых частях	Стеклослюдопласт, ГИП-Т-ЛСП и лента стеклянная	0,45 0,2	2 2
	—	Бандаж лобовых частей	Стеклолента бандажная ЛСБ-F	0,2	—
	—	Пропитка	Лак ПЭ-993** или лак КО-96н***	—	—
	—	Покрытие лобовых частей	Эмаль ЭП-91	—	—

Таблица 29. Рекомендации по пропитке обмоток

Сборочная единица	Класс нагревостойкости изоляции	Пропитываемый провод	Способ пропитки	Пропиточный состав			Число пропиток для исполнения изоляции	
				Марка	Пленкообразующие, %	Вязкость по ВЗ-4 при 20° С, с	У	Т
Статоры, роторы и якоря со всыпной обмоткой	А, Е	ПЭВ, ПЭТВ	ГП	МЛ-92	35—45	30—40	2	3
	В	ПЭВТЛ, ПСД	АВБ	МЛ-92	52—60	50—100	1	2
			С	КП-34, КП-103	—	—	1	—
	F	ПСД, ПСДК	ГП	ПЭ-933	50—55	30—60	2	3
			АВБ	ПЭ-933	52—60		1	2
			С	КП-34, КП-103	—	50—110	1	—
	F	ПЭТ-155, ПЭФ-155	ГП	КО-964Н	55—60		2	3
	F, Н	ПСДК	ГП	КО-964Н	55—60		2	3
Статоры с полуоткрытым пазом и обмоткой из прямоугольного провода в виде полукатушек	А	ПБД	ГП	БТ-987, БТ-988	28—35		1	—
	В	ПСД, ПЭТВП	ГП	МЛ-92	35—45	30—40	1	2
	F	ПСД	АВБ	МЛ-92	51—60		1	1
			АВБ	ПЭ-933	52—65		1	1
		ПЭТП-155	ГП	ПЭ-933	50—55	30—60	1	2
			ГП	КО-964Н	50—60		1	2
	Н	ПСДК	ГП	КО-916К	55—65	30—40	1	2

Примечания: 1. Условное обозначение способа пропитки: ГП — горячее погружение, АВБ — на автоматической вакуум-пропиточной установке, С — струйный. 2. За вязкость электроизоляционных жидкостей по ВЗ-4 принимают время в секундах истечения 100 мл жидкости из специальной воронки (вискозиметра ВЗ-4).

12. Пропитка обмоток

Пропитку обмотки производят составами без растворителей (КП-34, КП-103) или лаками на основе растворителей (БТ-987, БТ-988, МЛ-92, ПЭ-933, КО-916К, КО-964Н) с содержанием пленкообразующих веществ 35—70 % в зависимости от лака и технологии пропитки (табл. 29).

Таблица 30. Сушка после пропитки статоров, якорей и роторов

Класс нагревостойкости изоляции	Способ сушки	Пропиточный состав	Температура, °С	Время, ч
А	Конвекционный	БТ-987	110—125	6—15
А, Е, В	Конвекционный	МЛ-92	130—145	6—15
F	АВБ	МЛ-92	130—150	3—6
	Индукционный, токовый	КП-34, КП-103	150—170	0,2—0,5
	Конвекционный	ПЭ-933, КО-964Н	110—125 и 150—160	2—3 и 6—12
	АВБ	ПЭ-933	110—125 150—160	1 2—4
Н	Конвекционный	КО-964Н	110—125 и 150—160	2—3 и 6—12
		КО-916К	100—125 и 180—220	3—5 и 6—12

Примечание: Минимальное время указано для сборочных единиц меньших габаритов; минимальное время соответствует сушке при максимальных указанных в таблице температурах.

Лаки БТ-988 и БТ-987 изготовляют из специального ухтинского битума, льняного масла и сиккатива. Растворителями лака являются смесь ксилола с уайт-спиритом в соотношении 1 : 1, а также смеси, содержащие бензин, толуол, сольвент-нафт и скипидар. Лаки обладают низкой цементирующей способностью и не просыхают в толстом слое.

Лак МЛ-92 представляет собой смесь лака ГФ-95 и меламиноформальдегидной смолы в растворе бутанола. Хорошо сохнет в толстом слое, масло- и влагостоек и цементирует обмотки. Растворители лака — ксилол или толуол, или смесь их с уайт-спиритом.

Лак ПЭ-933 изготовляется на основе полиэфиров полигликольглицеротерефталата и эпоксидной смолы (ЭД-40 или ЭД-20) с отвердителем. Растворитель лака — смесь этилцеллозольва и ксилола в соотношении 1 : 1. Обладает высокой цементирующей способностью, высокими влаго-, тропико- и маслостойкостью. Лак не рекомендуется

применять для пропитки обмоток из эмалированных проводов, так как снижается их срок службы. Для кремнийорганических лаков КО-916К, КО-964, КО-964Н растворителем является ксилол. Лак КО-916К при применении в коллекторных машинах для уменьшения износа щеток следует сушить при 200—220 °С. Лак КО-964 менее летуч (по сравнению с КО-916К) в процессе теплового старения. Лак КО-964Н получают путем введения в лак КО-964 специального катализатора, который снижает температуру сушки лака до 150 °С. Лак КО-964Н может применяться для пропитки эмалированных проводов, так как он не вызывает в процессе теплового старения резкого повышения внутренних напряжений в пленках эмалевых лаков.

В лаках с растворителями содержится 50—55 % смолы, что вызывает необходимость проводить двухкратные, а иногда и трехкратные пропитки, чтобы заполнить пустоты в обмотке с длительным циклом (15—30 ч) сушки. Пропиточные составы без растворителей полностью состоят из смолы, поэтому при пропитке этими составами обмотка лучше заполняется смолой, чем при пропитке лаками с растворителями.

Основой составов без растворителей КП-34 и КП-103 являются ненасыщенные полиэфирные смолы с добавкой кремнийорганической смолы КО-916 (состав КП-34) или эпоксидной смолы ЭД-16 (состав КП-103). В состав КП-34 входит также перекись бензоила и сиккатив 64Б. Состав КП-103 поставляется в комплекте с пастой перекиси бензоила на дибутилфталате, которая вводится в состав перед его применением в количестве 3 %. Перекись бензоила способствует быстрому отверждению составов при 150—160 °С. В процессе нагрева при 70—80 °С вязкость составов резко снижается, что облегчает их проникновение в обмотку.

Процесс сушки после пропитки можно разделить на две стадии: разогрев обмоток при одновременном удалении растворителей и запекание лаковых пленок. В табл. 30 приведены температура и время сушки, причем в рекомендуемое время входит и время разогрева обмотки вместе со сборочной единицей, так как одновременно с разогревом происходит и частичное удаление растворителя. Для лаков, у которых удаление растворителя и запекание пленки происходят при резко отличающихся температурах, указаны температуры и время двух стадий сушки. При несоблюдении этого режима может произойти частичное запекание лаковой пленки, что приводит к образованию пористой пленки и затрудненному удалению остатков растворителя.

Автоматические вакуум-пропиточные установки типа АВБ фирмы «Хитека» (ВНР) позволяют применять лаки с повышенным содержанием пленкообразующих, благодаря чему за один цикл пропитки и сушки удается заполнить смолой пустоты в обмотке.

Режимы пропитки лаками ПЭ-933 и МЛ-92 сборочных единиц с обмотками на установке АВБ, с

Перемещение подвески с изделиями в автоклав	15÷40
Закрытие автоклава	15÷40
Вакуумирование до остаточного давления 67—5,3 кПа	20÷40
Заполнение автоклава лаком	60÷100

Повышение давления до 200 кПа	10÷15
Вакуумирование при остаточном давлении 67 кПа	60÷100
Повышение давления до 200 кПа	30÷90
Слив лака из автоклава	30÷60
Перекрытие крана лакопровода	5÷10
Вакуумирование до остаточного давления 5,3 кПа	10÷15
Стекание лака с изделий и отсасывание под вакуумом	90÷12
Доведение давления в автоклаве до атмосферного	20÷40
Раскрытие автоклава	10÷20

Время и температура сушки после пропитки определяются в зависимости от размеров и конструкции изделий с обмотками и пропиточного лака. Например, сушка статора электродвигателей с высотой оси вращения 200 мм, пропитанных лаком ПЭ-933, производится в два этапа: 1 ч при 110—125 °С и 3 ч при 150—160 °С.

IV. СХЕМЫ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

13. Классификация обмоток

Обмотки машин переменного тока классифицируются по ряду признаков:

1) применению — обмотки статора и ротора;
2) расположению в пазах — однослойные и двухслойные;
3) форме катушек — концентрические и равнокатушечные;
4) форме лобовых частей — двухплоскостные, трехплоскостные, переплетенные (корзиночные);
5) форме сечения провода — мягкие (всыпные из круглого провода) и жесткие (из прямоугольного провода);
6) расположению выводов катушек — петлевые и волновые;
7) шагу обмотки — с диаметральными, укороченными и удлиненными шагами;
8) числу пазов на полюс и фазу q — с целым и дробным;
9) укладке обмотки в пазы — вкладываемые со стороны цилиндрической поверхности и вставляемые с торца сердечника.
10) изоляции — с гильзовой и непрерывной изоляцией.

В современных электрических машинах для статоров применяются однослойные, двухслойные и одно-двухслойные обмотки. Тип обмотки зависит в основном от номинального напряжения U двигателя и высоты его вращения $h_{вр}$.

4. Основные данные трехфазных обмоток (рис. 1 и 2)

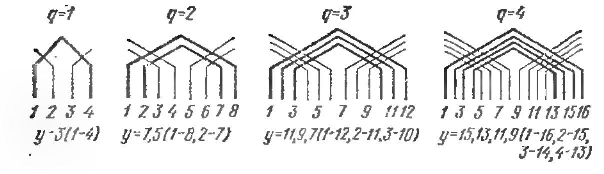
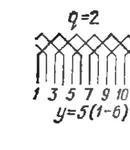
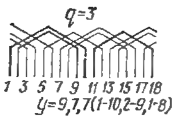


Рис. 1. Шаги концентрических обмоток в зависимости от числа q





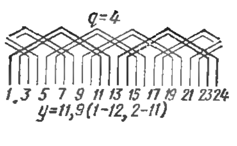


Рис. 2. Шаги концентрических обмоток вразвалку в зависимости от числа q

Таблица 31

Обозначения: $2p$ — число полюсов, $n_{пг}$ — число катушечных полугрупп, z — число пазов, y — шаг обмотки, $n_г$ — число катушечных групп, a — число параллельных ветвей, $n_к$ — число катушек в группе (полугруппе)

$2p$	z	q	Однослойная концентрическая обмотка				Однослойная концентрическая обмотка вразвалку				Двухслойная обмотка			
			$n_г$	$n_к$	y	a	$n_{пг}$	$n_к$	y	a	$n_г$	$n_к$	y	a
2	12	2	3	2	7; 5	1	6	1	5	1; 2	—	—	—	—
	18	3	3	3	11; 9; 7	1	6	2; 1	9; 7; 7	1	6	3	5; 6; 7	1; 2
	24	4	—	—	—	—	6	2	11; 9	1; 2	6	4	7; 8; 9	1; 2
	30	5	—	—	—	—	—	—	—	—	6	5	9; 10; 11	1; 2
	36	6	—	—	—	—	—	—	—	—	6	6	10; 11; 12; 13	1; 2
	48	8	—	—	—	—	—	—	—	—	6	8	14; 15; 16; 17	1; 2

2p	z	q	Однослойная концентрическая обмотка				Однослойная концентрическая обмотка вразвалку				Двухслойная обмотка			
			$n_г$	$n_к$	y	a	$n_{пг}$	$n_к$	y	a	$n_г$	$n_к$	y	a
4	12	1	6	1	3	1; 2	—	—	—	—	—	—	—	—
	18	$1^1/_2$	—	—	—	—	—	—	—	—	12	2; 1	4	1; 2
	24	2	6	2	7; 5	1; 2	12	1	5	1; 2; 4	12	2	5	1; 2; 4
	27	$2^1/_4$	—	—	—	—	—	—	—	—	12	3; 2; 2; 2	5; 6	1
	36	3	6	3	11; 9; 7	1; 2	12	2; 1	9; 7; 7	1; 2	12	3	7; 8; 9	1; 2; 4
	42	$3^1/_2$	—	—	—	—	—	—	—	—	12	4; 3	8; 9	1; 2
	48	4	—	—	—	—	12	2	11; 9	1; 2; 4	12	4	9; 10; 11	1; 2; 4
	54	$4^1/_2$	—	—	—	—	—	—	—	—	12	5; 4	11	1; 2
	60	5	—	—	—	—	—	—	—	—	12	5	11; 12; 13	1; 2; 4
6	27	$1^1/_2$	—	—	—	—	—	—	—	—	18	2; 1	4	1; 3
	36	2	9	2	7; 5	1; 3	18	1	5	1; 3; 6	18	2	5; 6	1; 2; 3; 6
	45	$2^1/_2$	—	—	—	—	—	—	—	—	18	3; 2	6	1; 3
	54	3	9	3	11; 9; 7	1; 3	18	2; 1	9; 7; 7	1; 3	18	3	7; 8	1; 2; 3; 6
	63	$3^1/_2$	—	—	—	—	—	—	—	—	18	4; 3	9	1; 3
	72	4	—	—	—	—	18	2	11; 9	1; 3; 6	18	4	9; 10; 11	1; 2; 3; 6
8	36	$1^1/_2$	12	2; 1	5; 3; 5	—	—	—	—	—	24	2; 1	4	1; 2; 4
	48	2	12	2	7; 5	1; 2; 4	24	1	5	1; 2; 4; 8	24	2	5; 6	1; 2; 4; 8
	54	$2^1/_4$	—	—	—	—	—	—	—	—	24	3; 2; 2; 2	6; 7	1; 2
	60	$2^1/_2$	—	—	—	—	—	—	—	—	24	3; 2	6	1; 2; 4
	72	3	—	—	—	—	—	—	—	—	24	3	7; 8	1; 2; 4; 8
10	60	2	—	—	—	—	—	—	—	—	30	2	5	1; 2; 5; 10
	90	3	—	—	—	—	—	—	—	—	30	3	8; 9	1; 2; 5; 10

15. Трехфазные однослойные обмотки

На рис. 3-25 приведены схемы наиболее распространенных однослойных обмоток. Для удобства пользования рисунки схем расположены в порядке возрастания чисел полюсов 2 p и пазов z.

Однослойные обмотки выполняются в большинстве случаев из круглого провода и применяются обычно в современных машинах переменного тока мощностью до 10—15 кВт для статоров.

Однослойные обмотки различают концентрические и равнокатушечные.

Концентрическая обмотка состоит из катушек, расположенных одна внутри другой. Число катушечных групп в такой обмотке равно 3 p. Число катушек в группе равно q — числу пазов на полюс и фазу. При $q=4$ применяют обычно концентрические обмотки вразвалку; катушечная группа в них разделена на две полу-

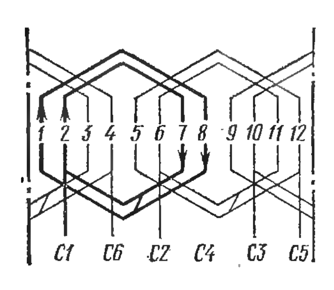


Рис. 3. Концентрическая обмотка статора при $2p=2$, $z=12$, $q=2$, $a=1$, $y=7$; 5 (1—8; 2—7)

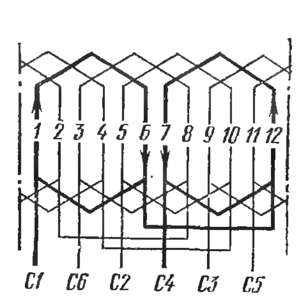


Рис. 4. Обмотка статора вразвалку при $2p=2$, $z=12$, $q=2$, $a=1$, $y=$ $=5$ (1—6)

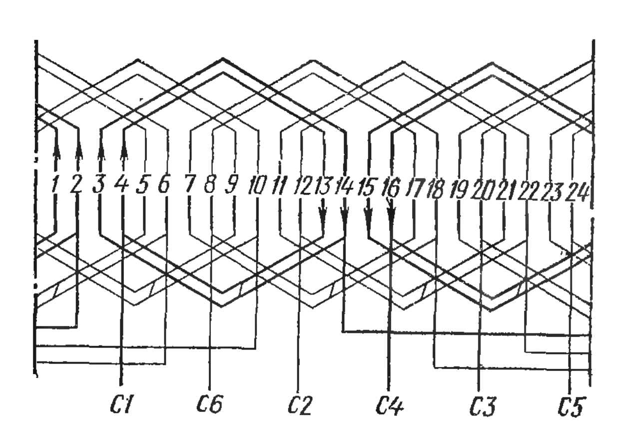


Рис. 5. Концентрическая обмотка статора вразвалку при $2p=2$, $z=24$, $q=4$, $a=1$, $y=11$; 9 (1—12; 2—11)

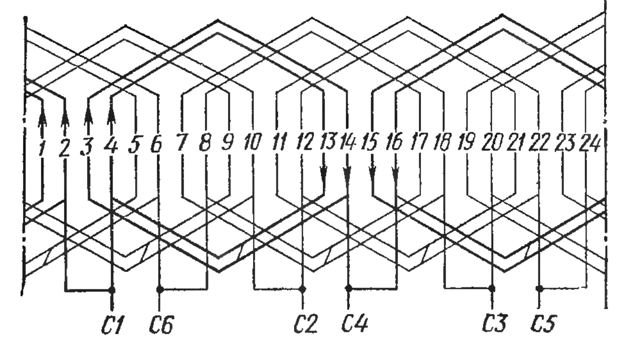


Рис. 6. Концентрическая обмотка статора вразвалку при $2p=2$, $z=24$, $q=4$, $a=2$, $y=11$; 9 (1—12; 2—11)

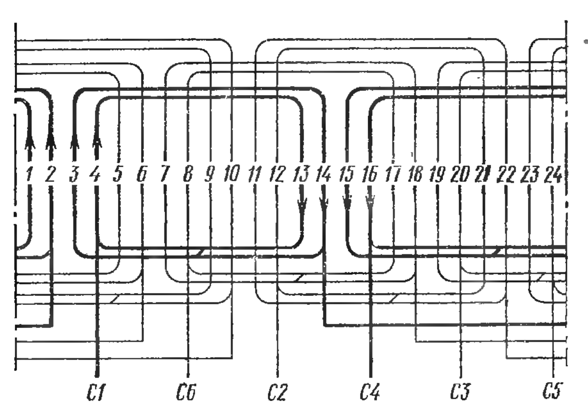


Рис. 7. Концентрическая обмотка статора вразвалку (трехплоскостная) при $2p=2$, $z=24$, $q=4$, $a=1$, $y=11$; 9 (1—12; 2—11)

группы. Обмотка вразвалку имеет меньшую среднюю длину витка и меньший вылет лобовой части, чем концентрическая, так как уменьшается шаг обмотки.

Концентрические обмотки вразвалку выполняют и при $q=3$ (рис. 21). В этом случае одна полугруппа состоит из двух катушек, вторая — из одной.

По расположению лобовых частей различают двухплоскостные (см. рис. 18) и трехплоскостные (см. рис. 7) концентрические обмотки. Лобовые части катушечных групп этих обмоток, располагающиеся в разных плоскостях, отличаются размерами и формой.

Равнокатушечные обмотки состоят из одинаковых по форме и размерам катушек (рис. 9); их выполняют также и вразвалку (рис. 10).

К равнокатушечным относятся цепные обмотки, которые могут иметь укороченный шаг и «несплошные» фазные зоны (рис. 22)

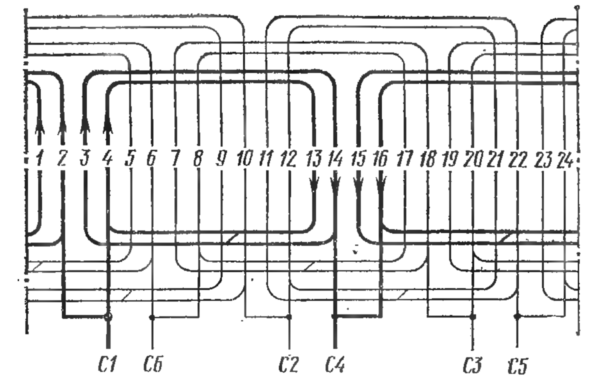


Рис. 8. Концентрическая обмотка статора вразвалку (трехплоскостная) при $2p=2$, $z=24$, $q=4$, $a=2$, $y=11$; 9 (1—12; 2—11)

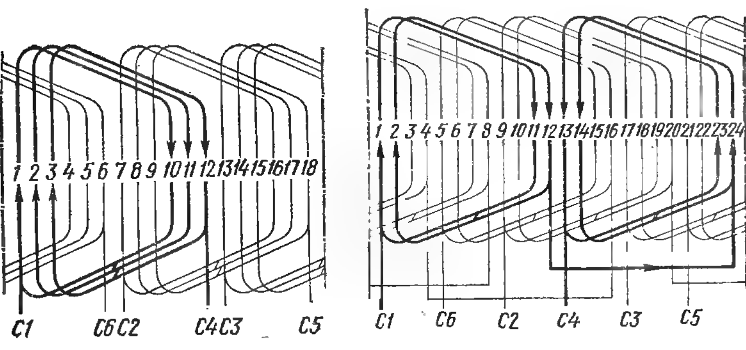


Рис. 9. Равнокатушечная обмотка статора при $2p=2$, $z=18$, $q=3$, $a=1$, $y=9$ (1—10)

Рис. 10. Равнокатушечная обмотка статора вразвалку при $2p=2$, $z=24$, $q=4$, $a=1$, $y=10$ (1—11)

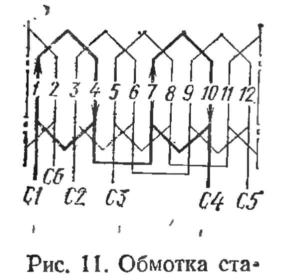


Рис. 11. Обмотка статора при $2p=4$, $z=12$, $q=1$, $a=1$, $y=3$ (1—4)



Рис. 12. Концентрическая обмотка статора при $2p=4$, $z=24$, $q=2$, $a=1$, $y=7$; 5 (1—8; 2—7)

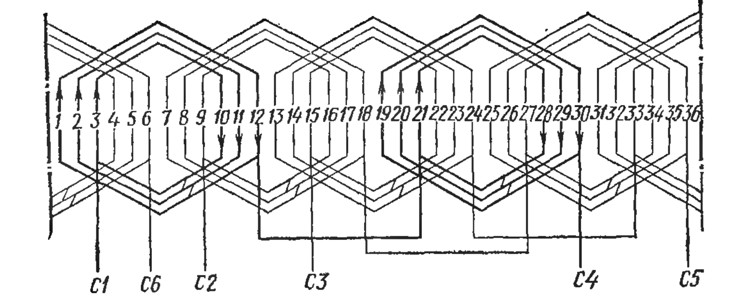


Рис. 13. Концентрическая обмотка статора при $2p=4$, $z=36$, $q=3$, $a=1$, $y=11$; 9; 7 (1—12; 2—11; 3—10)

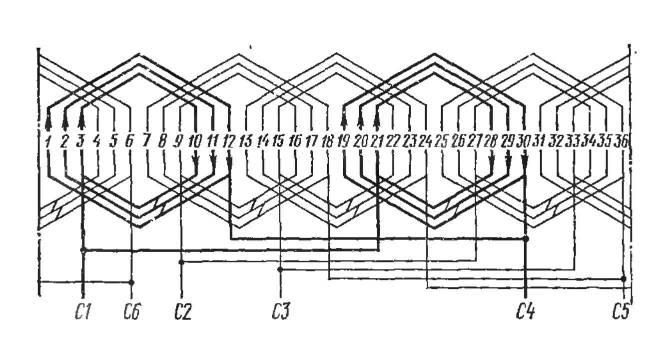


Рис. 14. Концентрическая обмотка статора при $2p=4$, $z=36$, $q=3$, $a=2$, $y=11$; 9; 7 (1—12; 2—11; 3—10)

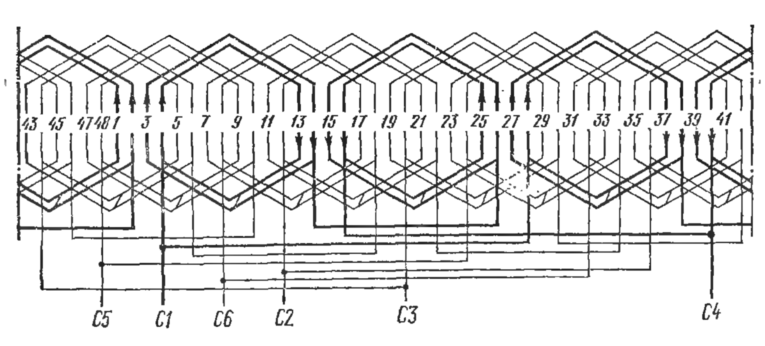


Рис. 15. Концентрическая обмотка статора вразвалку при $2p=4$, $z=48$, $q=4$, $a=2$, $y=11$; 9 (1—12; 2—11)

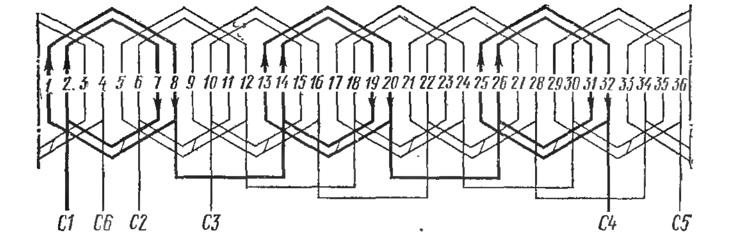


Рис. 16. Концентрическая обмотка статора при $2p=6$, $z=36$, $q=2$, $a=1$, $y=7$; 5 (1—8; 2—7)

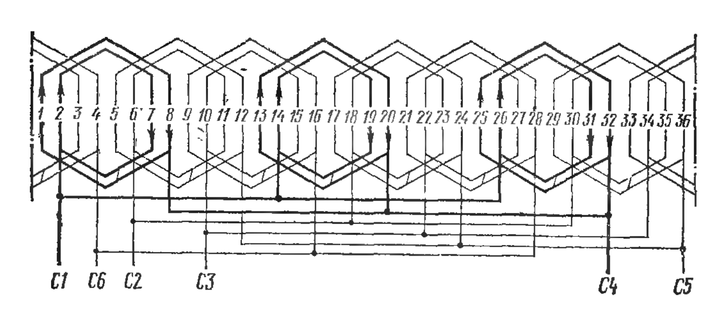


Рис. 17. Концентрическая обмотка статора при $2p=6$, $z=36$, $q=2$, $a=3$, $y=7$; 5 (1—8; 2—7)

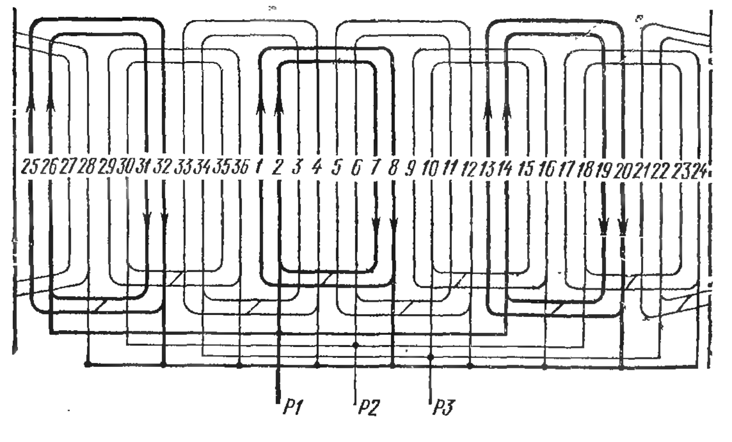


Рис. 18. Концентрическая двухплоскостная обмотка ротора при $2p=6$, $z=36$, $q=2$, $a=3$, $y=7$; 5 (1—8; 2—7)

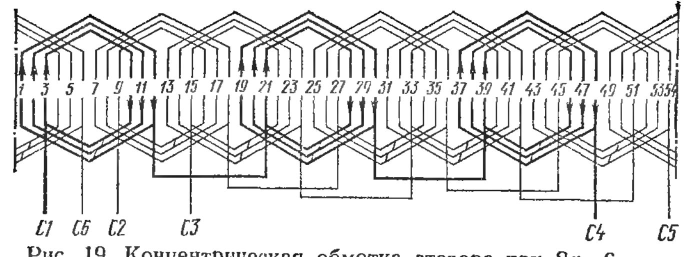


Рис. 19. Концентрическая обмотка статора при $2p=6$, $z=54$, $q=3$, $a=1$, $y=11$; 9; 7 (1—12; 2—11; 3—10)

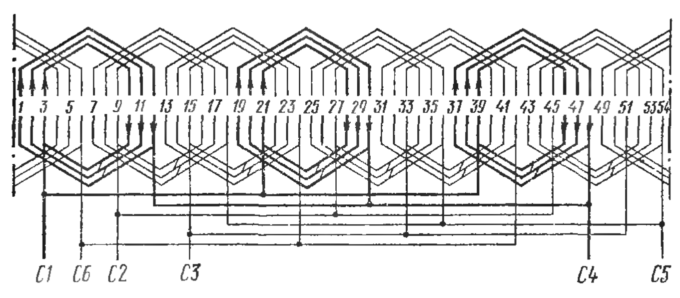


Рис. 20. Концентрическая обмотка статора при $2p=6$, $z=54$, $q=3$, $a=3$, $y=11$; 9; 7 (1—12; 2—11; 3—10)

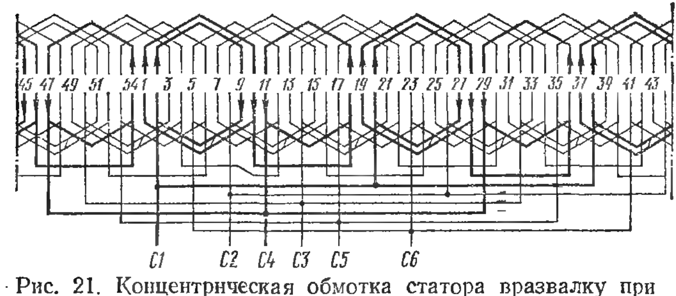


Рис. 21. Концентрическая обмотка статора вразвалку при $2p=6$, $z=54$, $q=3$, $a=3$, $y=9$; 7; 7 (1—10; 2—9; 1—8)

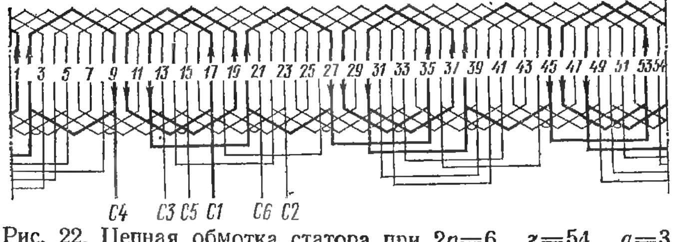


Рис. 22. Цепная обмотка статора при $2p=6$, $z=54$, $q=3$, $a=1$, $y=7$ (1—8)

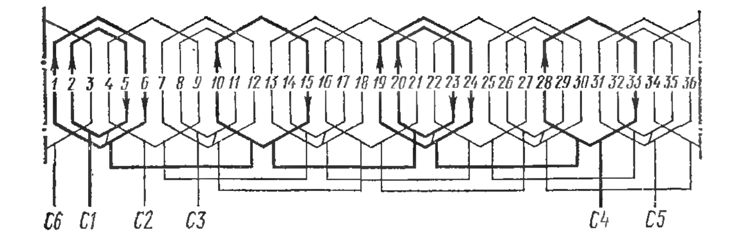


Рис. 23. Концентрическая обмотка статора при $2p=8$, $z=36$, $q=1{,}5$, $a=1$, $y=5$; 3; 5 (1—6; 2—5; 1—6)

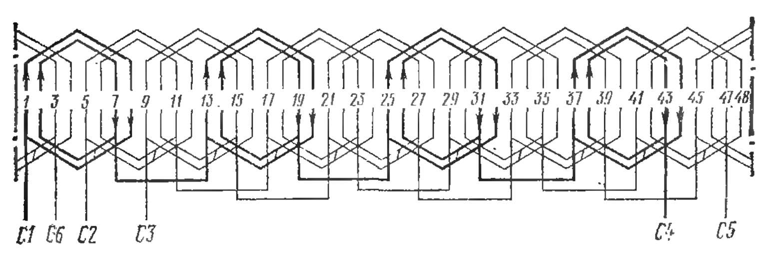


Рис. 24. Концентрическая обмотка статора при $2p=8$, $z=48$, $q=2$, $a=1$, $y=7$; 5 (1—8; 2—7)

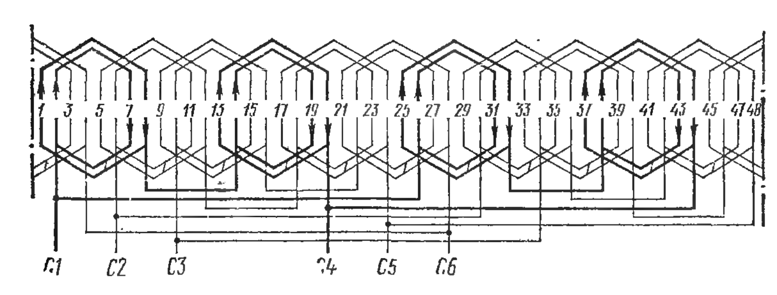


Рис. 25. Концентрическая обмотка статора при $2p=8$, $z=48$, $q=2$, $a=2$, $y=7$; 5 (1—8; 2—7)

При $q=1$ однослойная обмотка всегда выполняется как равнокатушечная (см. рис. 11).

Схемы однослойных обмоток изображают не только в развернутом виде, но и на виде с торца. Такие схемы удобны при большом числе пазов, так как на их вычерчивание затрачивается меньше времени и они занимают меньше места. Катушечные группы на них изображают в виде отрезка дуги *Г* (рис. 26, *а*), выводы катушечных групп — в виде коротких линий радиального направления. За начало группы *Н* принимается обычно линия, расположен-

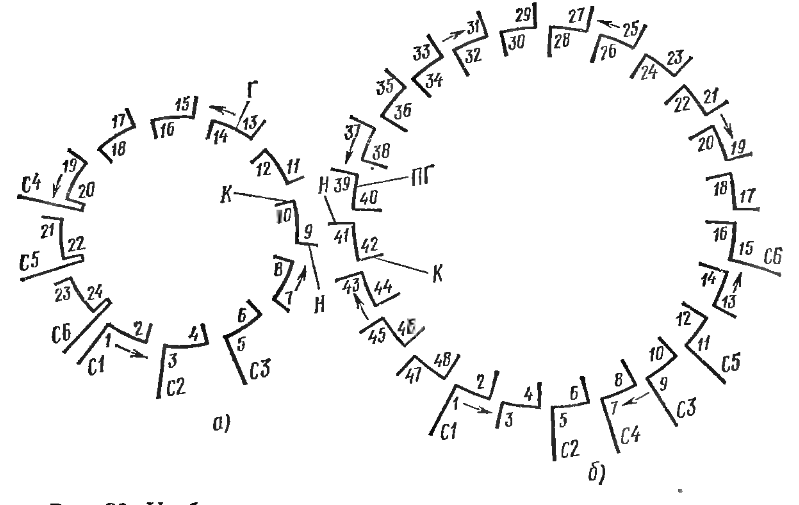


Рис. 26. Изображение и нумерация выводов катушечных групп однослойной обмотки статора при $2p=8$, $q=3$, $z=72$, $y=9$:

а — при $n_г=12$ (концентрическая обмотка), *б* — при $n_{пг}=24$ (концентрическая обмотка вразвалку); *Г*, *ПГ* — изображение катушечных групп (полугрупп), *Н*, *К* — начало и конец группы (полугруппы)

ная снаружи окружности, второй вывод *К* является концом группы, началам присваивают нечетные номера *1, 3, 5* и т. д., концам — четные *2, 4, 6* и т. д. Таким образом, начало первой группы обозначается цифрой *1*, ее конец — *2*, начало второй группы — *3*, конец — *4* и т. д. Рисунок схемы сопровождают таблицей, в которой указаны данные обмотки, необходимые для ее укладки, и порядок соединения выводов катушечных групп (табл. 32).

Таблица 32. Выполнение соединений однослойных обмоток (рис. 26) статора с шестью выводами катушечных групп

Обозначения те же, что и в таблице на с. 47

$n_к$	a	Соединение катушечных групп (полугрупп) между собой и с выводами
		По рис. 26, а
3	1	2 7; 4 9; 6 11; 8 13; 10 15; 12 17; 14 19; 16 21; 18 23 1 С1; 3 С2; 5 С3; 20 С4; 22 С5; 24 С6
3	2	2 7; 4 9; 6 11; 14 19; 16 21; 18 23 1 13 С1; 3 15 С2; 5 17 С3 8 20 С4; 10 22 С5; 12 24 С6
3	4	1 7 13 19 С1; 3 9 15 21 С2; 5 11 17 23 С3 2 8 14 20 С4; 4 10 16 22 С5; 6 12 18 24 С6

Продолжение табл. 32

$n_к$	a	Соединение катушечных групп (полугрупп) между собой и с выводами
		По рис. 26, б
1; 2; 1...	1	2 44; 4 10; 6 48; 8 14; 12 18; 16 22; 20 26; 24 30; 28 34; 32 38; 36 42; 40 46 3 45; 13 19; 17 23; 21 27; 25 31; 29 35; 33 39; 37 43; 41 47 1 C1; 5 C2; 9 C3; 7 C4; 11 C5; 15 C6
1; 2; 1...	2	2 44; 4 10; 6 48; 8 14; 12 18; 16 22; 20 26; 24 30; 28 34; 32 38; 36 42; 40 46 3 45; 13 19; 17 23; 21 27; 37 43; 41 47 1 25 C1; 5 29 C2; 9 33 C3 7 31 C4; 11 35 C5; 15 39 C6
1; 2; 1...	4	2 44; 4 10; 6 48; 8 14; 12 18; 16 22; 20 26; 24 30; 28 34; 32 38; 36 42; 40 46 1 13 25 37 C1; 7 19 31 43 C4 5 17 29 41 C2; 11 23 35 47 C5 9 21 33 45 C3; 3 15 27 39 C6

16. Трехфазные двухслойные петлевые равнокатушечные обмотки с целым числом *q*

При двух или нескольких параллельных ветвях в петлевой равнокатушечной обмотке каждая ветвь может быть образована последовательным соединением соседних катушечных групп в фазе — сосредоточенное соединение, или групп, равномерно распределенных по окружности статора, — распределенное соединение. Распределенная схема соединений обеспечивает одинаковые токи в параллельных ветвях при неравномерном воздушном зазоре, когда индуктивные сопротивления катушечных групп, расположенных на различных участках окружности статора, неодинаковы.

В цифровых схемах петлевых равнокатушечных обмоток (табл. 33 и 34) показано соединение выводов катушечных групп с выводами фаз и между собой. На рис. 27—39 изображены графические торцевые схемы обмоток статоров с сосредоточенным соединением катушечных групп, на рис. 40—42 — схемы с распределенным соединением катушечных групп.

Нумерация выводов катушечных групп производится следующим образом. За первый вывод обычно принимается вывод от стороны катушки, лежащей на дне паза. Он считается началом первой катушечной группы (см., например, рис. 32) и обозначается цифрой *1.* Конец первой катушечной группы маркируется цифрой *2,* начало второй катушечной группы обозначается цифрой *3,* конец ее — *4,* начало следующей — *5,* конец — *6* и т. д. Счет катушечных групп обычно ведут против часовой стрелки, а иногда и по часовой стрелке.

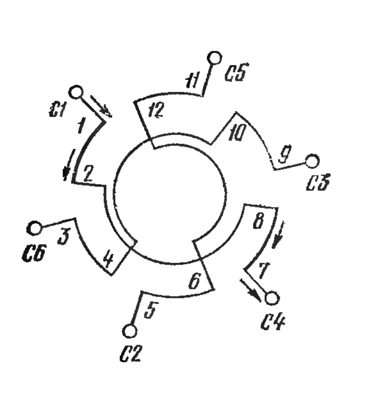


Рис. 27. Схема при $2p=2$, $a=1$

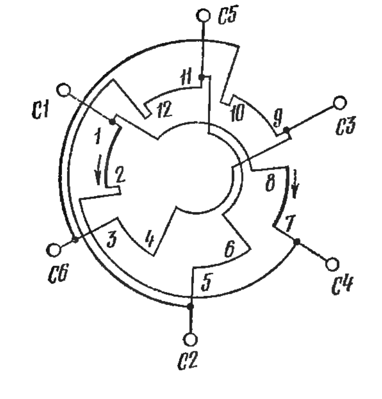


Рис. 28. Схема при $2p=2$, $a=2$

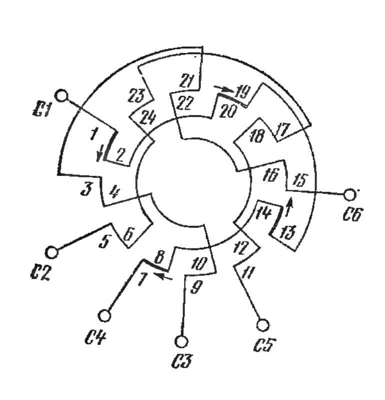


Рис. 29. Схема при $2p=4$, $a=1$

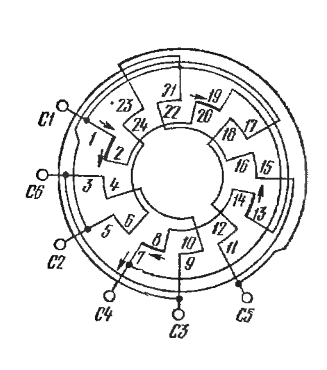


Рис. 30. Схема при $2p=4$, $a=2$

Цифровая схема более удобна для сборки соединений, чем графическая. Чтобы выполнить соединения по графнческой схеме, надо сначала найти выводы, которые соединяются на чертеже схемы, затем разыскать их на статоре, что потребует значительных затрат времени, особенно прн больших числах полюсов. В цифровой же схеме номера выводов катушечных групп, которые надо соединить, записываются рядом в удобном для чтения внде. Кроме того, цифровая схема может быть быстро записана, ее не нужно вычерчивать, как графическую.

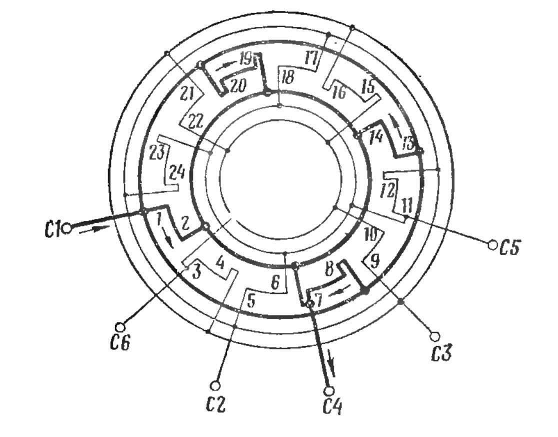


Рис. 31. Схема при $2p=4$, $a=4$

Рис. 32. Схема при $2p=6$, $a=1$

Рис. 33. Схема при $2p=6$, $a=2$

Рис. 34. Схема при $2p=6$, $a=3$

Рис. 35. Схема при $2p=6$, $a=6$

Рис. 36. Схема при $2p=8$, $a=1$

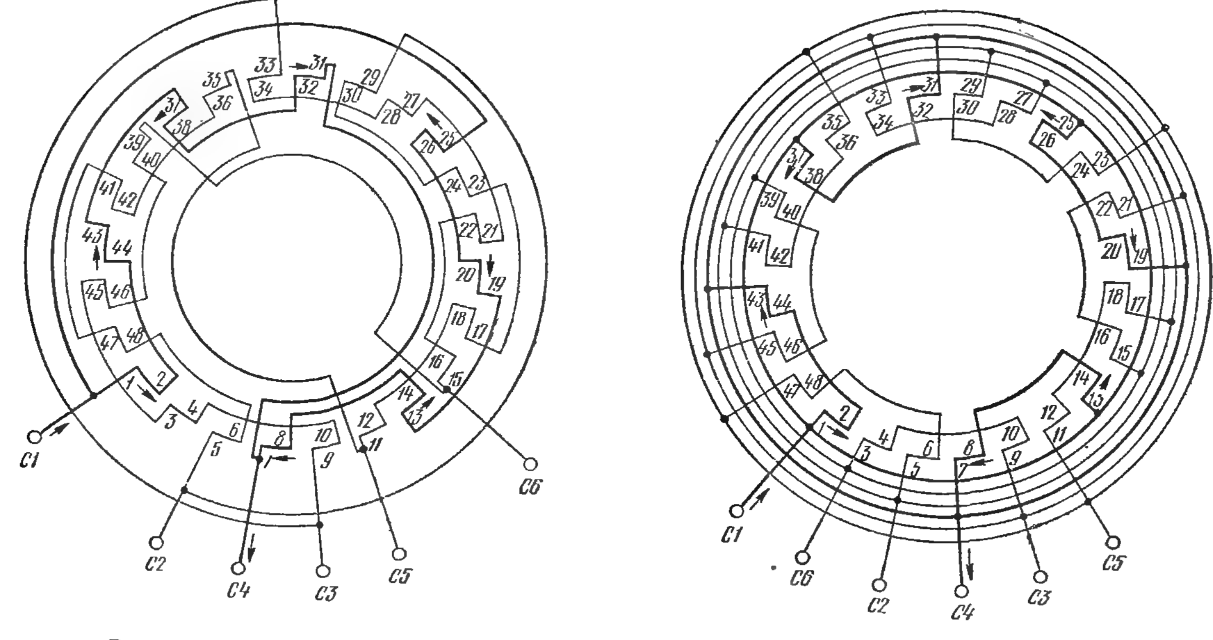


Рис. 37. Схема при $2p=8$, $a=2$

Рис. 38. Схема при $2p=8$, $a=4$

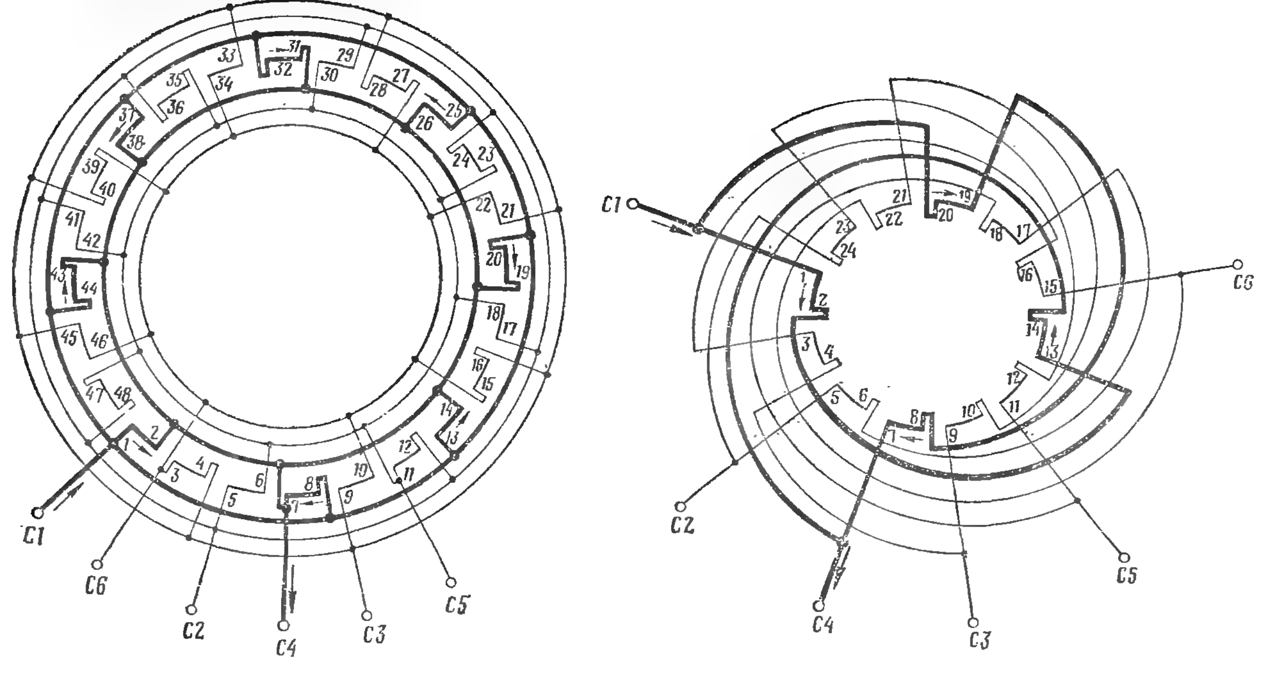


Рис. 39. Схема при $2p=8$, $a=8$

Рис. 40. Схема при $2p=4$, $a=2$ с распределенным соединением катушечных групп

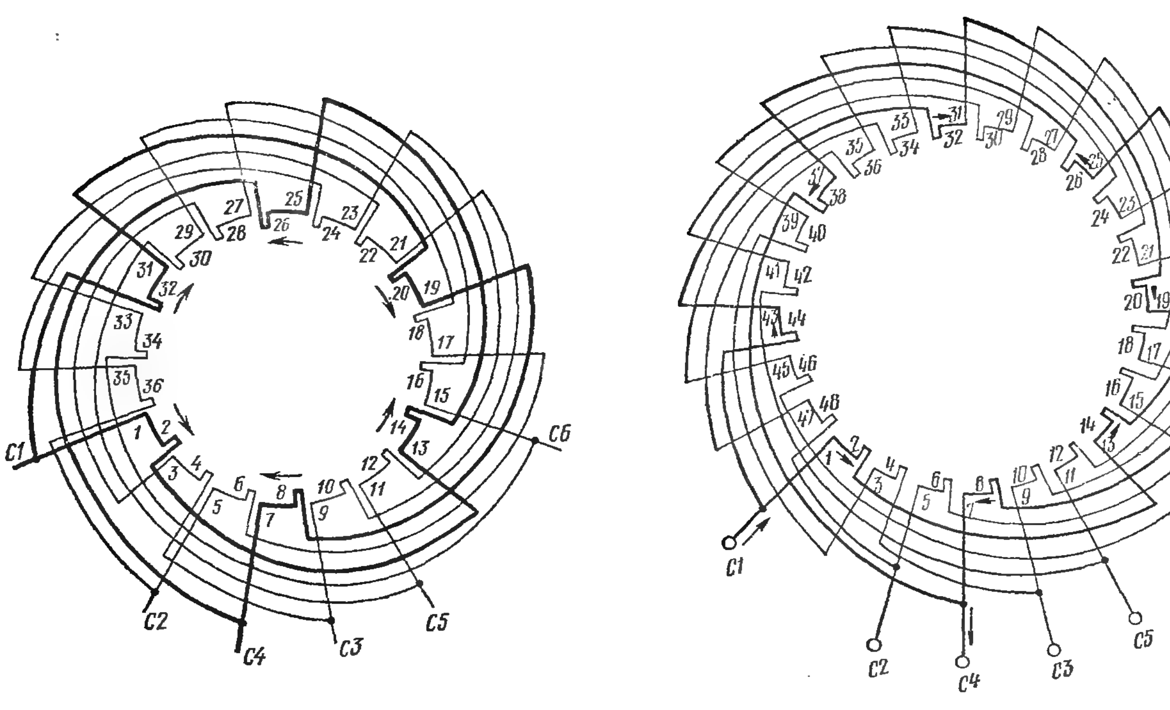


Рис. 41. Схема при $2p=6$, $a=2$ с распределенным соединением катушечных групп

Рис. 42. Схема при $2p=8$, $a=2$ с распределенным соединением катушечных групп

Таблица 33. Цифровые схемы трехфазных петлевых обмоток при сосредоточенном соединении катушечных групп и сборке по первому способу

$\frac{2p}{a}$	Соединения выводов катушечных групп с выводами фаз и между собой при соединении фаз		
	Δ/Y (шесть выводов)	Y (три вывода)	Δ (три вывода)
$\frac{2}{1}$	1 C1; 3 C6; 5 C2 7 C4; 9 C3; 11 C5	1 C1; 5 C2; 9 C3 3 7 11	1 3 C1; 5 7 C2; 9 11 C3
	2 8; 4 10; 6 12		
$\frac{2}{2}$	1 8 C1; 3 10 C6; 5 12 C2 7 2 C4; 9 4 C3; 11 6 C5	1 8 C1; 5 12 C2; 9 4 C3 3 7 11 2 6 10	1 3 8 10 C1; 5 7 2 12 C2 9 11 4 6 C3
$\frac{4}{1}$	1 C1; 5 C2; 7 C4 9 C3; 11 C5; 15 C6	1 C1; 5 C2; 9 C3 7 11 15	1 15 C1; 5 7 C2; 9 11 C3
	2 20; 4 10; 6 24; 8 14; 12 18; 16 22; 3 21; 13 19; 17 23		
$\frac{4}{2}$	1 13 C1; 3 15 C6; 5 17 C2 7 19 C4; 9 21 C3; 11 23 C5	1 13 C1; 5 17 C2; 9 21 C3 3 7 11 15 19 23	1 3 13 15 C1; 5 7 17 19 C2 9 11 21 23 C3
	2 20; 4 10; 6 24; 8 14; 12 18; 16 22		
$\frac{4}{4}$	1 8 13 20 C1; 3 10 15 22 C6 5 12 17 24 C2; 7 14 19 2 C4 9 16 21 4 C3; 11 18 23 6 C5	1 8 13 20 C1; 5 12 17 24 C2 9 16 21 4 C3 2 3 6 7 10 11 14 15 18 19 22 23	1 3 8 10 13 15 20 22 C1 5 7 12 14 17 19 24 2 C2 9 11 16 18 21 23 4 6 C3

<table>
<tr><td rowspan="2">2p/a</td><td colspan="3">Соединения выводов катушечных групп с выводами фаз и между собой при соединении фаз</td></tr>
<tr><td>Δ/Y (шесть выводов)</td><td>Y (три вывода)</td><td>Δ (три вывода)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6/1</td><td>1 C1; 5 C2; 7 C4
9 C3; 11 C5; 15 C6</td><td>1 C1; 5 C2; 9 C3
7 11 15</td><td>1 15 C1; 5 7 C2; 9 11 C3</td></tr>
<tr><td colspan="3">2 32; 4 10; 6 36; 8 14; 12 18; 16 22; 20 26;
24 30; 28 34; 3 33; 13 19; 17 23; 21 27; 25 31; 29 35</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6/2</td><td>1 20 C1; 5 24 C2; 9 28 C3
7 26 C4; 11 30 C5; 15 34 C6</td><td>1 20 C1; 5 24 C2; 9 28 C3
7 11 15 26 30 34</td><td>1 15 20 34 C1; 5 7 24 26 C2
9 11 28 30 C3</td></tr>
<tr><td colspan="3">2 32; 4 10; 6 36; 8 14; 12 18; 16 22; 3 33; 13 19; 17 23; 21 27; 25 31; 29 35</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6/3</td><td>1 13 25 C1; 3 15 27 C6
5 17 29 C2; 7 19 31 C4
9 21 33 C3; 11 23 35 C5</td><td>1 13 25 C1; 5 17 29 C2
9 21 33 C3
3 7 11 15 19 23 27 31 35</td><td>1 3 13 15 25 27 C1
5 7 17 19 29 31 C2
9 11 21 23 33 35 C3</td></tr>
<tr><td colspan="3">2 32; 4 10; 6 36; 8 14; 12 18; 16 22; 20 26; 24 30; 28 34</td></tr>
<tr><td>6/6</td><td>1 8 13 20 25 32 C1
3 10 15 22 27 34 C6
5 12 17 24 29 36 C2
7 14 19 26 31 2 C4
9 16 21 28 33 4 C3
11 18 23 30 35 6 C5</td><td>1 8 13 20 25 32 C1
5 12 17 24 29 36 C2
9 16 21 28 33 4 C3
3 7 11 10 14 18 15 19 23
22 26 30 27 31 35 34 2 6</td><td>1 3 8 10 13 15 20 22 25 27 32
34 C1
5 7 12 14 17 19 24 26 29 31 36
2 C2
9 11 16 18 21 23 28 30 33 35 4
6 C3</td></tr>
</table>

$\frac{8}{1}$	1 C1; 5 C2; 7 C4 9 C3; 11 C5; 15 C6	1 C1; 5 C2; 9 C3 7 11 15	1 15 C1; 5 7 C2; 9 11 C3
	2 44; 4 10; 6 48; 8 14; 12 18; 16 22; 20 26; 24 30; 28 34; 32 38; 36 42; 40 46 3 45; 13 19; 17 23; 21 27; 25 31; 29 35; 33 39; 37 43; 41 47		
$\frac{8}{2}$	1 25 C1; 5 29 C2; 7 31 C4 9 33 C3; 11 35 C5; 15 37 C6	1 25 C1; 5 29 C2; 9 33 C3 7 11 15 31 35 37	1 15 25 37 C1; 5 7 29 31 C2; 9 11 33 35 C3
	2 44; 4 10; 6 48; 8 14; 12 18; 16 22; 20 26; 24 30; 28 34; 32 38; 36 42; 40 46; 3 45; 13 19; 17 23; 21 27; 37 43; 41 47		
$\frac{8}{4}$	1 13 25 37 C1; 3 15 27 39 C6 5 17 29 41 C2; 7 19 31 43 C4 9 21 33 45 C3; 11 23 35 47 C5	1 13 25 37 C1; 5 17 29 41 C2; 9 21 33 45 C3 3 7 11 15 19 23 27 31 35 39 43 47	1 3 13 15 25 27 37 39 C1 5 7 17 19 29 31 41 43 C2 9 11 21 23 33 35 45 47 C3
	2 44; 4 10; 6 48; 8 14; 12 18; 16 22; 20 26; 24 30; 28 34; 32 38; 36 42; 40 46		
$\frac{8}{8}$	1 8 13 20 25 32 37 44 C1 3 10 15 22 27 34 39 46 C6 5 12 17 24 29 36 41 48 C2 7 14 19 26 31 38 43 2 C4 9 16 21 28 33 40 45 4 C3 11 18 23 30 35 42 47 6 C5	1 8 13 20 25 32 37 44 C1 5 12 17 24 29 36 41 48 C2 9 16 21 28 33 40 45 4 C3 3 7 11 10 14 18 15 19 23 22 26 30 27 31 35 34 38 42 39 43 47 46 2 6	1 3 8 10 13 15 20 22 25 27 32 34 37 39 44 46 C1 5 7 12 14 17 19 24 26 29 31 36 38 41 43 48 2 C2 9 11 16 18 21 23 28 30 33 35 40 42 45 47 4 6 C3
$\frac{10}{1}$	1 C1; 5 C2; 7 C4 9 C3; 11 C5; 15 C6	1 C1; 5 C2; 9 C3 7 11 5	1 15 C1; 5 7 C2; 9 11 C3
	2 56; 4 10; 6 60; 8 14; 12 18; 16 22; 20 26; 24 30; 28 34; 32 38; 36 42; 40 46; 44 50; 48 54; 52 58; 3 57; 13 19; 17 23; 21 27; 25 31; 29 35; 33 39; 37 43; 41 47; 45 51; 49 55; 53 59;		

$\frac{2p}{a}$	Соединения выводов катушечных групп с выводами фаз и между собой при соединении фаз		
	Δ/Y (шесть выводов)	Y (три вывода)	Δ (три вывода)
$\frac{10}{2}$	1 32 C1; 5 36 C2; 7 38 C4 9 40 C3; 11 42 C5; 15 46 C6	1 32 C1; 5 36 C2; 9 40 C3 7 11 15 38 42 46	1 15 32 46 C1; 5 7 36 38 C2 9 11 40 42 C3
	2 56; 4 10; 6 60; 8 14; 12 18; 16 22; 20 26; 24 30; 28 34; 44 50; 48 54; 52 58; 3 57; 13 19; 17 23; 21 27; 25 31; 29 35; 33 39; 37 43; 41 47; 45 51; 49 55; 53 59		
$\frac{10}{5}$	1 13 25 37 49 C1 3 15 27 39 51 C6 5 17 29 41 53 C2 7 19 31 43 55 C4 9 21 33 45 57 C3 11 23 35 47 59 C5	1 13 25 37 49 C1 5 17 29 41 53 C2 9 21 33 45 57 C3 3 7 11 15 19 23 27 31 35 39 43 47 51 55 59	1 3 13 15 25 27 37 39 49 51 C1 5 7 17 19 29 31 41 43 53 55 C2 9 11 21 23 33 35 45 47 57 59 C3
	2 56; 4 10; 6 60; 8 14; 12 18; 16 22; 20 26; 24 30; 28 34; 32 38; 36 42; 40 46; 44 50; 48 54; 52 58		
$\frac{10}{10}$	1 8 13 20 25 32 37 44 49 56 C1 3 10 15 22 27 34 39 46 51 58 C6 5 12 17 24 29 36 41 48 53 60 C2 7 14 19 26 31 38 43 50 55 2 C4 9 16 21 28 33 40 45 52 57 4 C3 11 18 23 30 35 42 47 54 59 6 C5	1 8 13 20 25 32 37 44 49 56 C1 5 12 17 24 29 36 41 48 53 60 C2 9 16 21 28 33 40 45 52 57 4 C3 3 7 11 10 14 18 15 19 23 22 26 30 27 31 35 34 38 42 39 43 47 46 50 54 51 55 59 58 2 6	1 3 8 10 13 15 20 22 25 27 32 34 37 39 44 46 49 51 56 58 C1 5 7 12 14 17 19 24 26 29 31 36 38 41 43 48 50 53 55 60 2 C2 9 11 16 18 21 23 28 30 33 35 40 42 45 47 52 54 57 59 4 6 C3

Таблица 34. Цифровые схемы трехфазных петлевых обмоток при распределенном соединении катушечных групп и числе параллельных ветвей $a=2$

2p	Соединения выводов катушечных групп с выводами фаз и между собой при соединении фаз		
	Δ/Y (шесть выводов)	Y (три вывода)	Δ (три вывода)
4	1 20 C1; 5 24 C2; 7 14 C4 9 4 C3; 11 18 C5; 15 22 C6	1 20 C1; 5 24 C2; 9 4 C3 7 11 15 14 18 22	1 15 20 22 C1; 5 7 14 24 C2 4 9 11 18 C3
	2 13; 6 17; 8 19; 10 21; 12 23; 16 3		
6	1 32 C1; 5 36 C2; 7 26 C4 9 4 C3; 11 30 C5; 15 34 C6	1 32 C1; 5 36 C2; 9 4 C3 7 11 15 26 30 34	1 15 32 34 C1; 5 7 26 36 C2 4 9 11 30 C3
	2 13; 6 17; 8 19; 10 21; 12 23; 14 25; 16 27; 18 29; 20 31; 22 33; 24 35; 28 3		
8	1 44 C1; 5 48 C2; 7 38 C4 9 4 C3; 11 42 C5; 15 46 C6	1 44 C1; 5 48 C2; 9 4 C3 7 11 15 38 42 46	1 15 44 46 C1; 5 7 38 48 C2 4 9 11 42 C3
	2 13; 6 17; 8 19; 10 21; 12 23; 14 25; 16 27; 18 29; 20 31; 22 33; 24 35; 26 37; 28 39; 30 41; 32 43; 34 45; 36 47; 40 3		
10	1 56 C1; 5 60 C2; 7 50 C4 9 4 C3; 11 54 C5; 15 58 C6	1 56 C1; 5 60 C2; 9 4 C3 7 11 15 50 54 58	1 15 56 58 C1; 5 7 50 60 C2 4 9 11 54 C3
	2 13; 6 17; 8 19; 10 21; 12 23; 14 25; 16 27; 18 29; 20 31; 22 33; 24 35; 26 37; 28 39; 30 41; 32 43; 34 45; 36 47; 38 49; 40 51; 42 53; 44 55; 46 57; 48 59; 52 3		

Схему при двух параллельных ветвях с сосредоточенным соединением катушечных групп можно выполнить двумя способами. При первом способе к началу фазы *C1* присоединяют расположенную диаметрально противоположно $(3p+1)$ катушечную группу. Если число пар полюсов четное ($p=2, 4, 6, ...$), то присоединяют начало группы, если нечетное ($p=3, 5, 7, ...$), то конец.

Считая катушечную группу с маркировкой *C1* за первую, находят: при $2p=4$ начало катушечной группы 7; при $2p=6$ конец катушечной группы *10* (рис. 43, *а*); при $2p=8$ начало катушечной группы 13; при $2p=10$ конец катушечной группы 16; при $2p=12$ начало катушечной группы 19. Найденный вывод (20) соединяют с началом фазы *C1*. Затем находят выводы катушечных групп, которые должны быть присоединены к остальным выводам фаз. Эти выводы катушечных групп расположены друг относительно друга так же, как и выводы фаз: после первой фазы одну группу пропускают, затем помечают четыре вывода подряд 24, 26, 28, 30 и через одну группу последний вывод 34. Найденные выводы катушечных групп поочередно присоединяют к выводам *C2, C4, C3, C5, C6*.

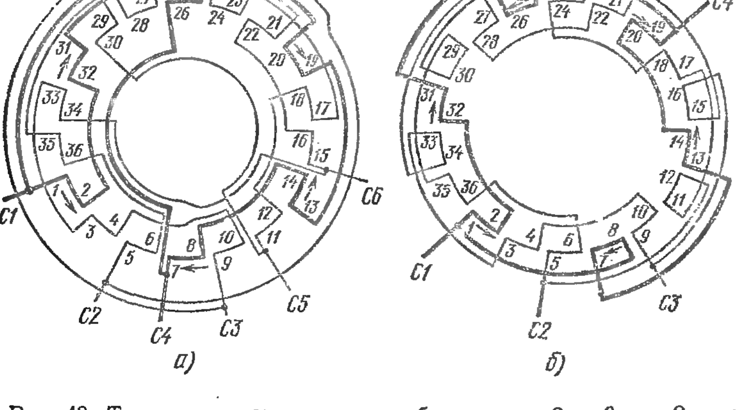


Рис. 43. Торцовые схемы петлевых обмоток при $2p=6$, $a=2$ с сосредоточенным соединением катушечных групп и сборке по первому (*а*) и второму (*б*) способам

При втором способе к началу фазы *C1* присоединяют конец четвертой по счету катушечной группы вне зависимости от числа пар полюсов (рис. 43, *б*). Начала фаз располагают через одну группу, концы фаз берут от диаметрально противоположных групп. Если число пар полюсов нечетное ($p=3, 5, 7, ...$), то концы фаз соответствуют началам этих групп, если четное ($p=2, 4, 6, ...$) — концам групп.

Цифровые схемы при сборке по первому способу приведены в табл. 33, по второму — в табл. 35.

Таблица 35. Цифровые схемы трехфазных петлевых обмоток при сосредоточенном соединении катушечных групп, числе параллельных ветвей $a=2$ и сборке по второму способу

2p	Соединения выводов катушечных групп с выводами фаз и между собой при соединении фаз		
	Δ/Y (шесть выводов)	Y (три вывода)	Δ (три вывода)
4	1 8 C1; 5 12 C2; 9 16 C3 14 19 C4; 18 23 C5; 22 3 C6	1 8 C1; 5 12 C2; 9 16 C3 3 19 23 14 18 22	1 3 8 22 C1; 5 12 14 19 C2 9 16 18 23 C3
	2 20; 4 10; 6 24; 7 13; 11 17; 15 21		
6	1 8 C1; 5 12 C2; 9 16 C3 19 26 C4; 23 30 C5; 27 34 C6	1 8 C1; 5 12 C2; 9 16 C3 19 23 27 26 30 34	1 8 27 34 C1; 5 12 19 26 C2 9 16 23 30 C3
	2 32; 3 33; 4 10; 6 36; 7 13; 11 17; 14 20; 15 21; 18 24; 22 28; 25 31; 29 35		
8	1 8 C1; 5 12 C2; 9 16 C3 26 31 C4; 30 35 C5; 34 39 C6	1 8 C1; 5 12 C2; 9 16 C3 26 30 34 31 35 39	1 8 34 39 C1; 5 12 26 31 C2 9 16 30 35 C3
	2 44; 3 45; 4 10; 6 48; 7 13; 11 17; 14 20; 15 21; 18 24; 19 25; 22 28; 23 29; 27 33; 32 38; 36 42; 37 43; 40 46; 41 47		
10	1 8 C1; 5 12 C2; 9 16 C3 31 38 C4; 35 42 C5; 39 46 C6	1 8 C1; 5 12 C2; 9 16 C3 31 35 39 38 42 46	1 8 39 46 C1; 5 12 31 38 C2 9 16 35 42 C3
	2 56; 3 57; 4 10; 6 60; 7 13; 11 17; 14 20; 15 21; 18 24; 19 25; 22 28; 23 29; 26 32; 27 33; 30 36; 34 40; 37 43; 41 47; 44 50; 45 51; 48 54; 49 55; 52 58; 53 59		

В роторных обмотках для уменьшения дисбаланса выводы фаз обычно располагают равномерно по окружности — через 120° (рис. 44, *а*). Когда число пар полюсов обмотки кратно числу фаз ($2p=6$, 12, ...), выполнить это требование не представляется возможным, так как в этом случае со сдвигом на 120° по окружности располагаются катушечные группы одной и той же фазы (рис. 44, *б*).

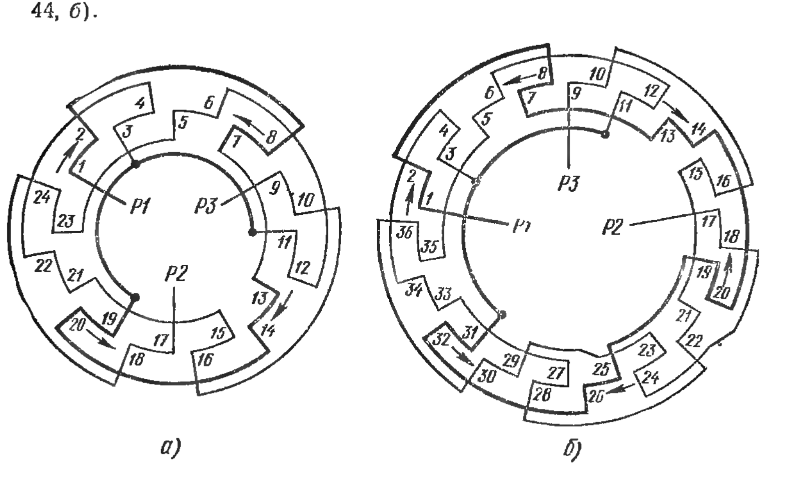


Рис. 44. Петлевая роторная обмотка с числом параллельных ветвей $a=1$:

а — при $2p=4$, *б* — при $2p=6$

Фазы обмотки ротора в большинстве случаев соединяются звездой, обмотка имеет три вывода, которые направлены к оси ротора (табл. 36).

Таблица 36. Цифровые схемы трехфазных петлевых обмоток при равномерном расположении выводов по окружности (число выводов — три, соединение фаз — звезда, соединение катушечных групп — сосредоточенное)

$\frac{2p}{a}$	Соединение выводов катушечных групп с выводами фаз и между собой
$\frac{4}{1}$	1 P1; 9 P3; 17 P2; 19 3 11 2 8; 4 22; 6 12; 10 16; 14 20; 18 24 5 23; 7 13; 15 21
$\frac{4}{2}$	1 13 P1; 9 21 P3; 17 5 P2 3 7 11 15 19 23 2 8; 4 22; 6 12; 10 16; 14 20; 18 24
$\frac{4}{4}$	1 8 13 20 P1; 9 16 21 4 P3; 17 24 5 12 P2 2 3 6 7 10 11 14 15 18 19 22 23

$\frac{2p}{a}$	Соединение выводов катушечных групп с выводами фаз и между собой
$\frac{6}{1}$	1 Р1; 9 Р3; 17 Р2; 31 3 11 2 8; 4 34; 6 12; 10 16; 14 20; 18 24; 22 28; 26 32; 30 36 5 35; 7 13; 15 21; 19 25; 23 29; 27 33
$\frac{6}{2}$	1 20 Р1; 9 28 Р3; 17 36 Р2; 14 22 30 31 3 11 2 8; 4 34; 6 12; 10 16; 18 24; 26 32 5 35; 7 13; 15 21; 19 25; 23 29; 27 33
$\frac{6}{3}$	1 13 25 Р1; 9 21 33 Р3; 17 29 5 Р2; 3 7 11 15 19 23 27 31 35 2 8; 4 34; 6 12; 10 16; 14 20; 18 24; 22 28; 26 32; 30 36
$\frac{8}{1}$	1 Р1; 17 Р2; 33 Р3; 43 11 27 2 8; 4 46; 6 12; 10 16; 14 20; 18 24; 22 28; 26 32 30 36; 34 40; 38 44; 42 48 3 9; 5 47; 7 13; 15 21; 19 25; 23 29; 31 37; 35 41; 39 45
$\frac{8}{2}$	1 25 Р1; 17 41 Р2; 33 9 Р3; 3 11 19 27 35 43 2 8; 4 46; 6 12; 10 16; 14 20; 18 24; 22 28; 26 32; 30 36; 34 40; 38 44; 42 48 5 47; 7 13; 15 21; 23 29; 31 37; 39 45
$\frac{8}{4}$	1 13 25 37 Р1; 17 29 41 5 Р2; 33 45 9 21 Р3 3 7 11 15 19 23 27 31 35 39 43 47 2 8; 4 46; 6 12; 10 16; 14 20; 18 24; 22 28; 26 32; 30 36; 34 40; 38 44; 42 48
$\frac{8}{8}$	1 8 13 20 25 32 37 44 Р1; 17 24 29 36 41 48 5 12 Р2; 33 40 45 4 9 16 21 28 Р3 2 6 10 14 18 22 26 30 34 38 42 46 3 7 11 15 19 23 27 31 35 39 43 47

17. Трехфазные двухслойные петлевые обмотки с дробным числом *q*

Дробное число пазов на полюс и фазу q может быть представлено в виде смешанного (целого с правильной дробью) числа: $q=b+c/d$, где b — целая часть дробного q; c — числитель; d — знаменатель его дробной части.

Катушечная группа не может состоять из дробного числа катушек. Поэтому обмотку выполняют из больших и малых катушечных групп. Число катушек в малой группе всегда равно b, т. е. целой части числа q. В большой катушечной группе число катушек равно $b+1$, т. е. на одну больше, чем в малой.

Большие и малые катушечные группы чередуются в определенной последовательности. Порядок чередования находят следующим способом. Составляют таблицу из c строк и d столбцов. В клетки таблицы записывают числа катушек в катушечных группах. Сначала заполняют сверху вниз первый (левый) столбец таблицы, затем второй также сверху вниз и т. д. В первую очередь записывают числа катушек, содержащихся в больших катушечных группах, заполняя ими c клеток, затем $(d-c)$ клеток заполняют числами катушек в малых катушечных группах. Далее опять вписывают c чисел катушек больших групп, $(d-c)$ малых и т. д. до заполнения всех клеток таблицы. Нужное чередование читают по

строкам заполненной таблицы. Так, например, для $q=4^3/_5$ получаем таблицу:

5	4	5	4	5
5	4	5	5	4
5	5	4	5	4

По строкам читаем чередование: 54545, 54545... — первая строка, 54554, 54554... — вторая строка, 55454, 55454... — третья строка. Все три строки показывают одно и то же чередование, изменяется только начало отсчета первой катушечной группы. Для построения схемы обмотки можно взять любое из них.

В обмотках с сосредоточенным соединением катушечных групп схемы выполняются так же, как и при целом числе пазов на полюс и фазу; уменьшается лишь возможное число параллельных ветвей, которое определяется из соотношения

$$\frac{2p}{a\,d} = \text{целому числу}$$

Пример схемы обмотки с распределенным соединением при $2p=8$; $a=2$ и знаменателе дробности 2 ($q=1^1/_2$; $2^1/_2$; $3^1/_2$ и т. д.) приведен на рис. 45.

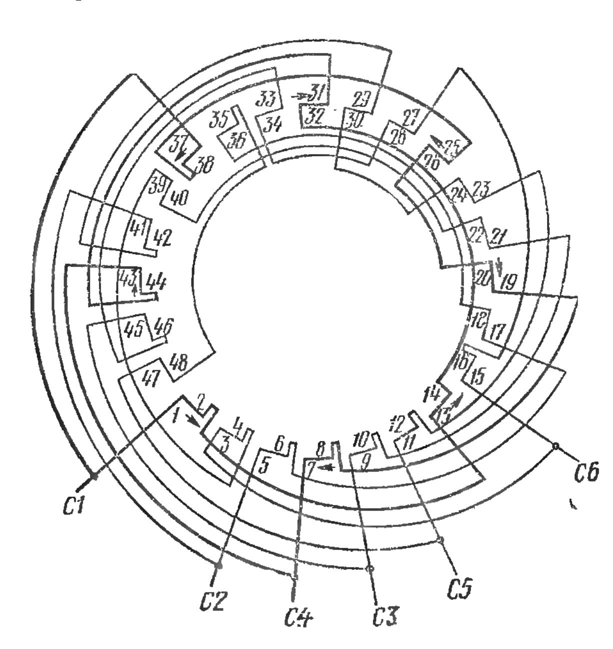


Рис. 45. Торцовая схема петлевой обмотки при $2p=8$, $a=2$ с распределенным соединением катушечных групп и знаменателе дробности 2, т. е. при $q=1^1/_2$, $2^1/_2$, $3^1/_2$ и т. д.

Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу применяются в многополюсных асинхронных двигателях небольшой мощности, например в рольганговых электродвигателях серии АР, приводящих в движение ролики станов для горячей и холодной прокатки металла. Многополюсные двигатели небольших размеров имеют сравнительно небольшое число пазов и дробное число пазов на полюс и фазу. Обмотки таких двигателей выполняются из круглого провода. Вся фаза наматывается целиком без разрыва провода. На междукатушечные соединения в процессе намотки фазы надеваются изоляционные трубки.

Укладка двухслойной обмотки производится следующим образом. Сначала укладывается первая катушечная группа третьей фазы, за ней — первая катушечная группа второй фазы. После укладки первых групп всех трех фаз вторая катушечная группа поворачивается на 180° (рис. 46) и укладывается в пазы. Поворот второй катушечной группы при непрерывной намотке фаз в двухслойной обмотке необходим для того, чтобы направление тока в соседних сторонах смежных катушечных групп, образующих полюс, было одинаковым. В этом случае выполняется правило последовательного соединения катушечных групп в двухслойной обмотке — соединяются между собой концы групп.

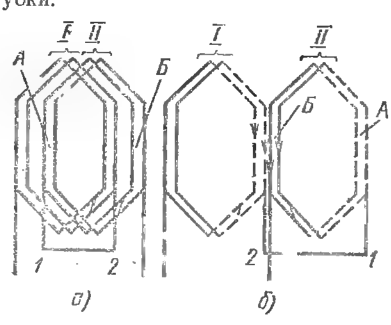


Рис. 46. Катушечная группа фазы двухслойной обмотки при непрерывной намотке:

а — до укладки в пазы, *б* — после укладки в пазы; *I*, *II* — первая и вторая катушечные группы фазы; *А*, *Б* — стороны второй катушечной группы; *1*, *2* — междукатушечное соединение

Таким же образом поворачиваются и укладываются вторые катушечные группы третьей и второй фаз. Третьи катушечные группы фаз укладываются без поворота, четвертые — опять с поворотом и т. д.

В табл. 37 указана последовательность укладки катушечных групп фаз при укладке непрерывно намотанных фаз обмоток двигателей серии АР с различными числами полюсов и пазов. На рис. 47 приведена развернутая схема обмотки при $2p=8$, $z=45$.

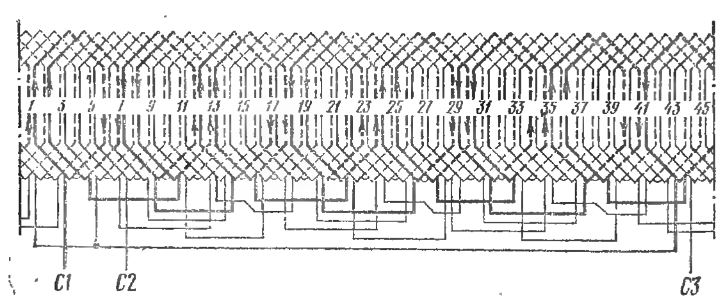


Рис. 47. Двухслойная обмотка с непрерывной намоткой фаз при $2p=8$, $z=45$, $q=1^{7}/_{8}$, $a=1$, $y=5$

В обмотках с дробным q, меньшим единицы, отсутствующая катушка (в таблице она обозначена 0) при укладке обмотки считается как существующая в действительности: если катушка, следующая за отсутствующей, нечетная (с учетом нулевой), то она не переворачивается, а если четная, то переворачивается. Если не учесть эту особенность, то все катушки, следующие за нулевой, будут соединены неправильно.

В многополюсных двигателях серии АР при малом шаге обмотки катушки получаются сравнительно жесткими, что затрудняет их укладку в пазы. Поэтому разрешается укладка обеих сторон первых катушек на дно паза, а последних — в верхнюю его часть, если лобовая часть обмотки по толщине не выходит за допустимые пределы. Такая укладка приводит к некоторой несимметрии обмотки, однако она находится в допустимых пределах.

Таблица 37. Последовательность укладки больших и малых катушечных групп двухслойных обмоток с дробным q при непрерывной намотке фаз

z	$2p$	q	y	a	Последовательность укладки катушечных труб
36	8	$1\,^1/_2$	4	1	Фаза I: 1 2 1 2 1 2 1 2 Фаза III: 2 1 2 1 2 1 2 1 Фаза II: 1 2 1 2 1 2 1 2
36	10	$1\,^1/_5$	3	1	Фаза I: 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 Фаза III: 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 Фаза II; 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2
45	6	$2\,^1/_2$	5	1	Фаза I: 2 3 2 3 2 3 Фаза III: 3 2 3 2 3 2 Фаза II: 2 3 2 3 2 3
45	8	$1\,^7/_8$	5	1	Фаза I: 2 2 2 2 2 2 2 1 Фаза III: 2 2 2 2 1 2 2 2 Фаза II: 2 1 2 2 2 2 2 2
45	10	$1\,^1/_2$	4	1	Фаза I: 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 Фаза III: 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 Фаза II: 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1
45	12	$1\,^1/_4$	3	1	Фаза I: 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 Фаза III: 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 Фаза II: 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1
45	16	$\frac{15}{16}$	3	1	Фаза I: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 Фаза III: 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 Фаза II: 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1
54	10	$1\,^4/_5$	5	1	Фаза I: 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 Фаза III: 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 Фаза II: 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1

z	2p	q	y	a	Последовательность укладки катушечных групп
54	12	$1\,^1/_2$	4	1	Фаза I: 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 Фаза III: 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 Фаза II: 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2
54	12	$1\,^1/_2$	4	2	Фаза I: 1 2 1 2 1 2* 1 2 1 2 1 2** Фаза III: 2 1 2 1 2 1* 2 1 2 1 2 1** Фаза II: 1 2 1 2 1 2* 1 2 1 2 1 2**
54	16	$1\,^1/_8$	3	1	Фаза I: 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 Фаза III: 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 Фаза II: 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2
72	16	$1\,^1/_2$	4	2	Фаза I: 1 2 1 2 1 2 1 2* 1 2 1 2 1 2 1 2** Фаза III: 2 1 2 1 2 1 2 1* 2 1 2 1 2 1 2 1** Фаза II: 1 2 1 2 1 2 1 2* 1 2 1 2 1 2 1 2**
72	20	$1\,^1/_5$	3	1	Фаза I: 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 Фаза III: 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 Фаза II: 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2
72	20	$1\,^1/_5$	3	2	Фаза I: 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1* 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1** Фаза III: 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1* 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1** Фаза II: 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2* 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2**

* Первая параллельная ветвь.
** Вторая параллельная ветвь.

18. Трехфазные двухслойные петлевые концентрические обмотки

Двухслойная концентрическая обмотка отличается от равнокатушечной двухслойной (рис. 48, *а*) шагом катушек, которые расположены одна внутри другой (рис. 48, *б*). Поскольку катушки того и другого вида обмотки располагаются в одних и тех же пазах, обмоточные коэффициенты их равны. Средний шаг концентрической двухслойной обмотки равен шагу исходной двухслойной с укороченным шагом: $y_{ср} = (5+7+9)/3 = 7$.

Соединение катушечных групп двухслойной концентрической обмотки можно выполнять по торцовым схемам двухслойных рав-

нокатушечных обмоток. Надо только не допустить ошибки при нахождении начал и концов катушечных групп и правильно пронумеровать их выводы.

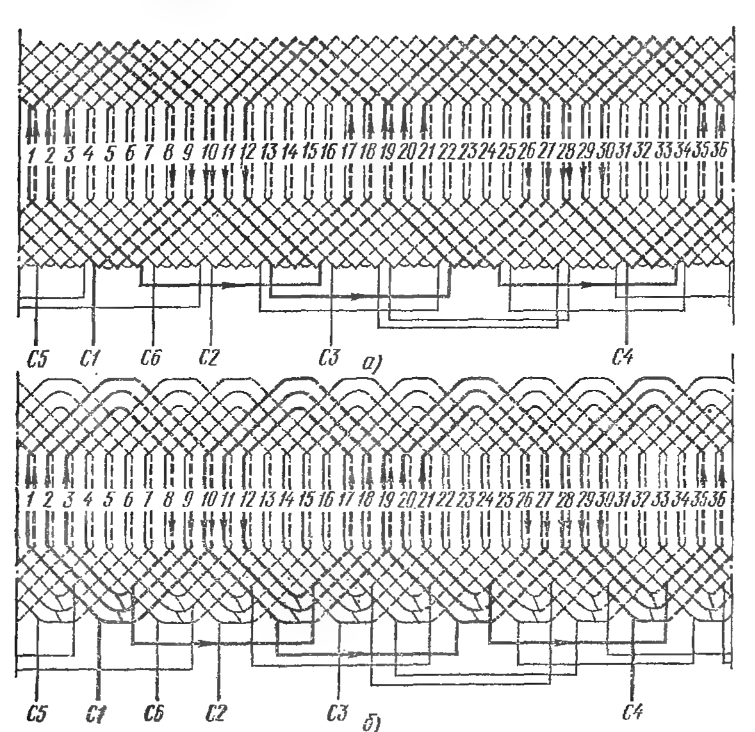


Рис. 48. Двухслойная петлевая обмотка статора при $z=36$, $2p=4$, $q=3$, $a=1$:

а — обычная двухслойная обмотка с шагом $y=7$, *б* — двухслойная концентрическая обмотка с шагами $y=9$; 7; 5 (1—10; 2—9; 3—8)

19. Трехфазные одно-двухслойные и двухслойные обмотки для механизированной укладки

Механизированная намотка статоров может быть применена только для обмоток, укладываемых в пазы одновременно обеими сторонами и не требующих подъема шаговых катушек. К таким обмоткам относятся однослойные, которые применяются для двигателей мощностью до 10—15 кВт. При большей мощности обычно применяют двухслойные обмотки, позволяющие выполнить катушки с укороченным шагом, что позволяет улучшить характеристики двигателей и сократить расход меди.

Разработанные в последние годы специально для механизированной укладки одно-двухслойные и двухслойные концентрические обмотки могут быть выполнены с укороченным шагом и уложены в пазы одновременно обеими сторонами.

Одно-двухслойная обмотка представляет собой сочетание однослойной и двухслойной обмоток. В обычной двухслойной обмотке с укороченным шагом в некоторых пазах располагаются стороны катушек одной и той же фазы, а в других — стороны катушек разных фаз.

В одно-двухслойной обмотке (рис. 49) в части пазов помещают однослойные катушки (большие) с двойным числом витков, а остальные пазы занимает двухслойная обмотка. Однослойные катушки занимают те пазы, которые в двухслойной обмотке были заняты катушками одной и той же фазы. Число катушечных групп в фазе равно числу полюсов. Катушечная группа обычно состоит из одной большой и (q—2) малых катушек; всего в группе (q—1) катушек, т. е. на одну меньше, чем в обычной двухслойной обмотке. Шаг большой катушки равен $y_б=3q-1$, шаги малых катушек $y_{м1}=y_б-2$; $y_{м2}=y_б-4$; $y_{м3}=y_б-6...$.

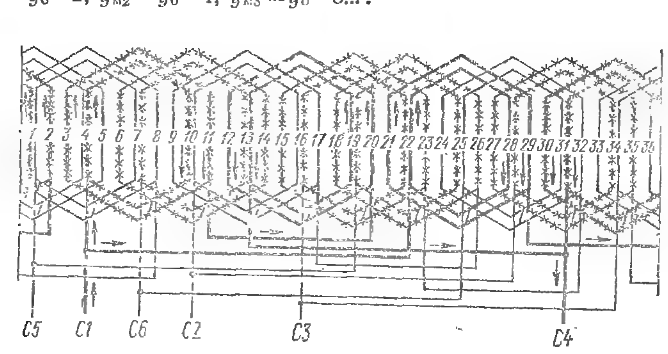


Рис. 49. Одно-двухслойная обмотка вразвалку при $2p=4$, $z=36$, $q=3$, $a=2$, $y=8$; 6 (1—9; 2—8)

Одно-двухслойная обмотка выполнима только при $q>2$. При $q=2$ она превращается в концентрическую однослойную обмотку вразвалку. Одно-двухслойная обмотка при $q>4$ может быть выполнена также и с двумя большими катушками в каждой катушечной группе. В этом случае общее число катушек в группе будет (q—2).

Обмотки с четным числом пар полюсов укладывают в два этапа. Вначале укладывают обеими сторонами в нижние части пазов 4 и 10, 7 и 13, 16 и 22, 19 и 25, 28 и 34, 31 и 1 половину малых катушек, а большими катушками заполняют пазы 3 и 11,6 и 14, 15 и 23, 18 и 26, 27 и 35, 30 и 2. Затем устанавливают изоляционные прокладки и вторую половину малых катушек в верхние части пазов 13 и 19, 22 и 28, 25 и 31, 34 и 4, 1 и 7, 10 и 16, а большими катушками заполняют пазы 12 и 20, 21 и 29, 24 и 32, 33 и 5,36 и 8,9 и 17. Таким образом, укладку производят без подъема шага.

Одно-двухслойную обмотку с нечетным числом пар полюсов (рис. 50) укладывают в три этапа. На первом этапе укладывают половину катушечных групп первой и второй фаз, заполняя большими катушками пазы 3 и 14, 10 и 3 и одновременно укладывая обеими сторонами в низ пазов 4 и 13, 5 и 12, 24 и 9, 1 и 8 малые катушки. На втором этапе укладывают все катушечные группы третьей фазы, заполняя большими катушками пазы 19 и 6, 18 и 7

и одновременно одной стороной в низ пазов 20 и 21, 26 и 17, а другой стороной — в верх пазов 9 и 8,5 и 4 укладывают малые катушки. На третьем этапе укладывают оставшиеся половины катушечных групп первой и второй фаз, большими катушками заполняя пазы 2 и 15, 11 и 22 и одновременно обеими сторонами укладывая в верх пазов 16 и 1, 17 и 24, 12 и 21, 13 и 20 катушки.

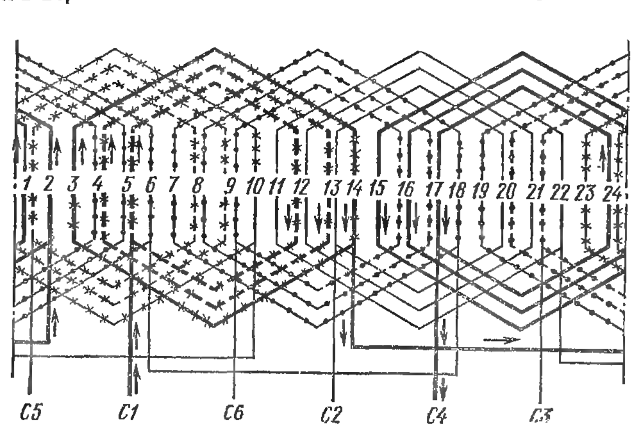


Рис. 50. Одно-двухслойная обмотка вразвалку при $2p=2$, $z=24$, $q=4$, $a=1$, $y=11$; 9; 7 (1—12; 2—11; 3—10)

Двухслойная концентрическая обмотка для механизированной укладки (рис. 51) отличается от обычной двухслойной обмотки с теми же числами $2p$ и q шагами катушек и расположением их сторон в верхнем или нижнем слое обмотки. Катушечные группы этой обмотки состоят из концентрических катушек. Катушка, которая охватывает все остальные катушки, входящие в группу, получается путем соединения лобовыми частями первой и последней сторон катушек группы обычной двухслойной обмотки.

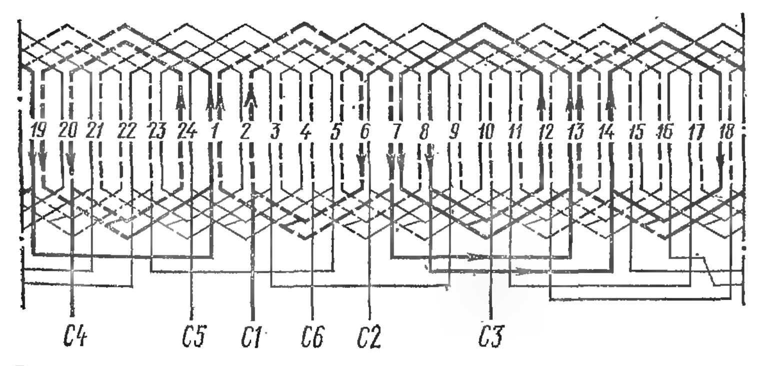


Рис. 51. Двухслойная концентрическая обмотка, укладываемая без поднятия шага при $2p=4$, $z=24$, $q=2$, $y=6$; 4 (1—7; 2—6)

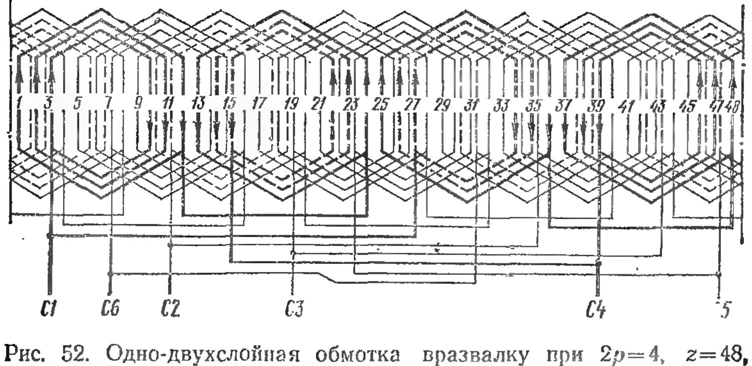


Рис. 52. Одно-двухслойная обмотка вразвалку при $2p=4$, $z=48$, $q=4$, $a=2$, $y=11$; 9; 7 (1—12; 2—11; 3—10)

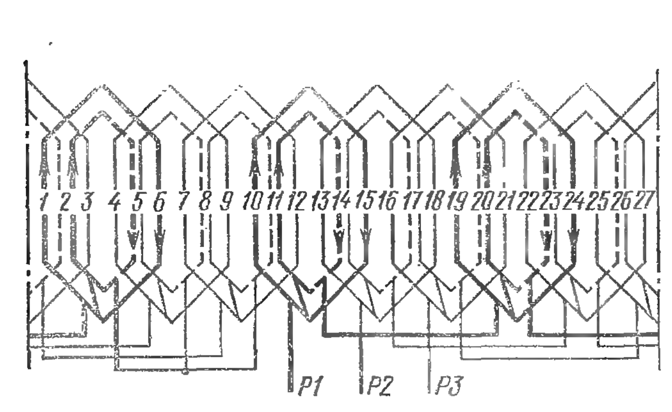


Рис. 53. Одно-двухслойная обмотка ротора при $2p=6$, $z=27$, $q=1^1/_2$, $a=1$, $y=5$; 3 (1—6; 2—5)

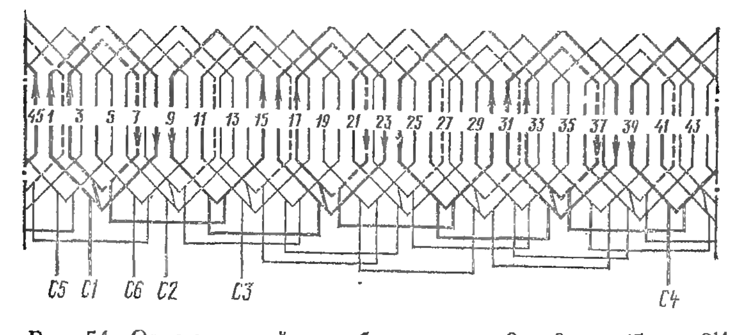


Рис. 54. Одно-двухслойная обмотка при $2p=6$, $z=45$, $q=2^1/_2$, $a=1$, $y=7$; 5; 6 (1—8; 2—7; 1—7)

Схемы одно-двухслойных обмоток, нашедших применение в современных сериях асинхронных электродвигателей, приведены на рис. 52—61. В крановых и металлургических электродвигателях серии MTF, MTH, MTM одно-двухслойные обмотки применяются как для статоров, так и для роторов.

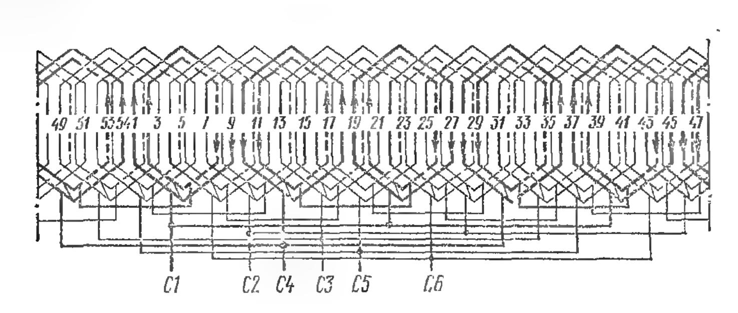


Рис. 55. Одно-двухслойная обмотка при $2p=6$, $z=54$, $q=3$, $a=3$, $y=8$; 6 (1—9; 2—8)

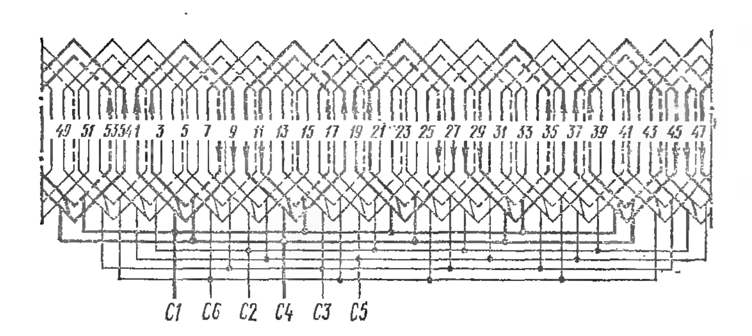


Рис. 56. Одно-двухслойная обмотка при $2p=6$, $z=54$, $q=3$, $a=6$, $y=8$; 6 (1—9; 2—8)

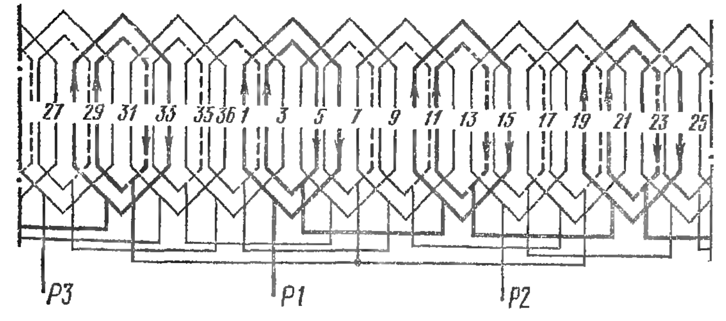


Рис. 57. Одно-двухслойная обмотка ротора при $2p=8$, $z=36$, $q=1^1/_2$, $a=1$, $y=5$; 3 (1—6; 2—5)

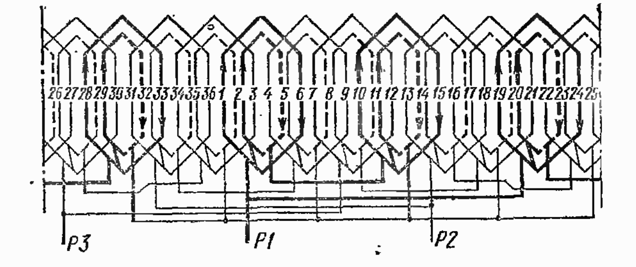


Рис. 58. Одно-двухслойная обмотка ротора при $2p=8$, $z=36$, $q=1^1/_2$, $a=2$, $y=5$; 3 (1—6; 2—5)

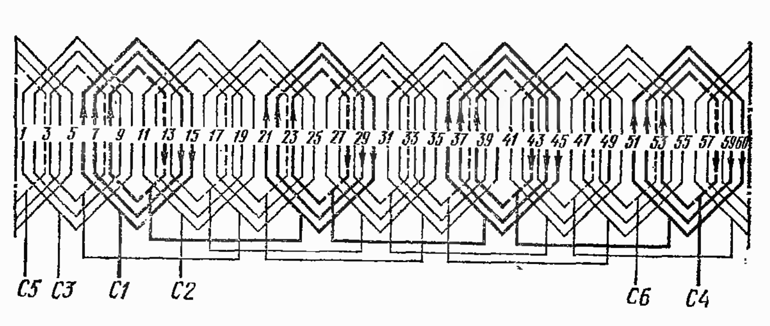


Рис. 59. Одно-двухслойная обмотка при $2p=8$, $z=60$, $q=2^1/_2$, $a=1$, $y=9$; 7; 5 (1—10; 2—9; 3—8)

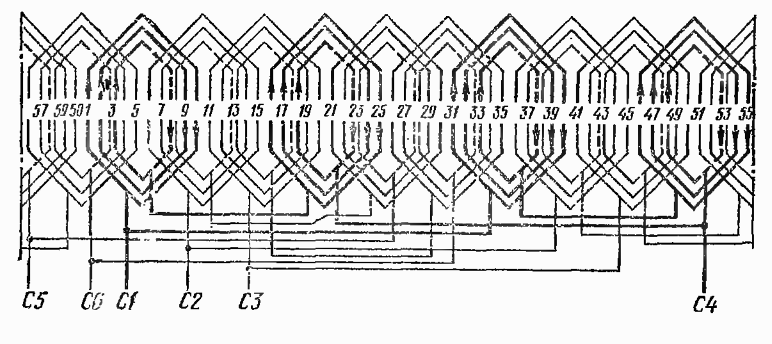


Рис. 60. Одно-двухслойная обмотка при $2p=8$, $z=60$, $q=2^1/_2$, $a=2$, $y=9$; 7; 5 (1—10; 2—9; 3—8)

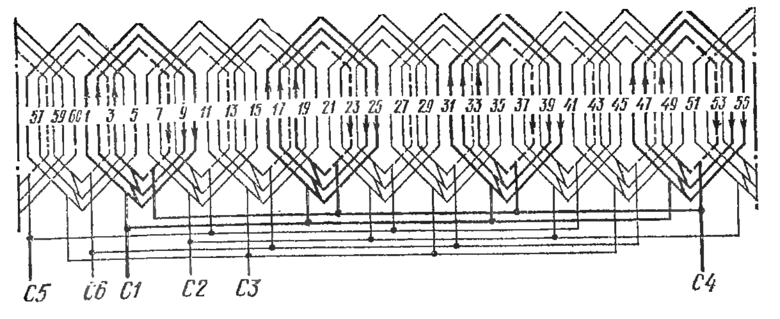


Рис. 61. Одно-двухслойная обмотка при $2p=8$, $z=60$, $q=2^1/_2$, $a=4$, $y=9$; 7; 5 (1—10; 2—9; 3—8)

20. Обмотки трехфазных многоскоростных асинхронных двигателей

Многоскоростные трехфазные асинхронные двигатели обычно изготовляют на две, три и четыре частоты вращения.

Двухскоростные двигатели на кратные частоты вращения (числа полюсов $2p=4/2$; $8/4$; $12/6$) имеют на статоре одну двухслойную обмотку, которая может переключаться на два разных числа полюсов.

Двухскоростные двигатели на некратные частоты вращения ($2p=6/4$) имеют две отдельные обмотки, расположенные в одних и тех же пазах. Катушечные группы соединяют последовательно, а фазы — в звезду, чтобы избежать замкнутых контуров.

Двигатели на три и четыре частоты вращения имеют также две отдельные обмотки. При трех частотах вращения одна обмотка переключается на два разных числа полюсов, а вторая имеет промежуточное число полюсов. У двигателей на четыре частоты вращения каждая из обмоток переключается на два числа полюсов.

Двухскоростная двухслойная обмотка состоит из катушечных групп, укладка которых производится, как в обычной двухслойной обмотке. Число катушечных групп соответствует меньшей полюсности; обмотка имеет: 6 групп при $2p=4/2$, 12 групп при $2p=8/4$; 18 групп при $2p=12/6$. Шаг обмотки определяют, исходя из большего числа полюсов, например при $2p=4/2$, $z=36$, $y=36/4=9$ (или удлиненный 10).

Соединение выводов катушечных групп между собой и с выводами фаз в двухскоростной обмотке может быть также представлено в виде круговой схемы, как и в обычных двухслойных обмотках. Наиболее распространенные схемы приведены на рис. 62—64.

Катушечные группы в двухслойных двухскоростных обмотках в каждой фазе разделяются на две части таким образом, чтобы при подключении на меньшее число полюсов ток в половине катушечных групп изменял направление, а при большем числе полюсов направление тока во всех катушечных группах фазы было одинаково. На рисунках направление тока в группах показано при подключении на большее число полюсов сплошной стрелкой, при под-

ключении на меньшее число полюсов — пунктирной. Направление тока на схемах в первой и второй фазах принято от начала фазы к концу, в третьей фазе — от конца к началу.

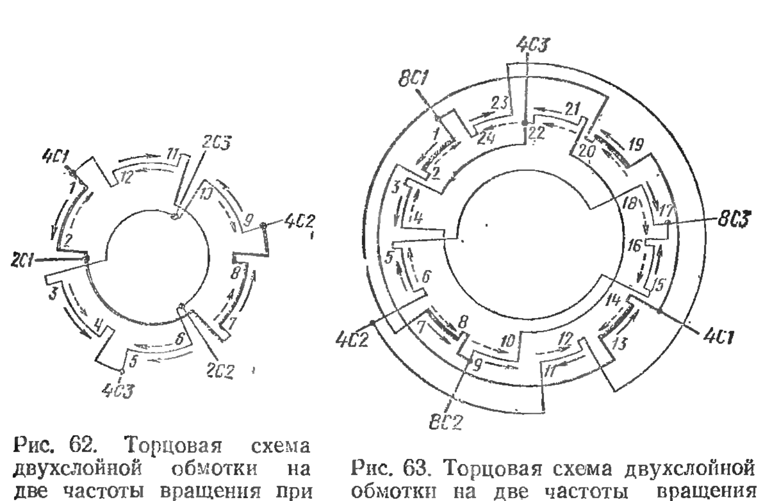


Рис. 62. Торцовая схема двухслойной обмотки на две частоты вращения при $2p=4/2$, $a=1/2$ и соединении фаз Δ/YY

Рис. 63. Торцовая схема двухслойной обмотки на две частоты вращения при $2p=8/4$, $a=1/2$ и соединении фаз Δ/YY

Рис. 64. Торцовая схема двухслойной обмотки на две частоты вращения при $2p=12/6$, $a=1/2$ и соединении фаз Δ/YY

Рассмотрим для примера схему, показанную на рис. 63. Из нее следует, что должны быть соединены между собой выводы катушечных групп: 2—13, 4—15, 10—21, 12—23, 18—5, 20—7. Начало фаз присоединяются к выводам: 8С1—1—24; 8С2—8—9; 8С3—16—17; 4С2—14—19; 4С3—3—22; 4С2—6—11.

При включении схемы на большее число полюсов к сети присоединяются начала фаз 8С1, 8С2 и 8С3. При этом ток в катушечных группах каждой фазы направлен одинаково: в первой и второй фазах — от начала к концу (от нечетной цифры к четной), в третьей — от конца к началу. При включении на меньшее число полюсов ток в половине катушечных групп каждой фазы меняет направление на противоположное (группы: 1—2, 3—4, 11—12, 13—14, 15—16, 23—24).

При числе полюсов $2p=4/2$ находят применение двухслойные обмотки с концентрическими катушками (рис. 65).

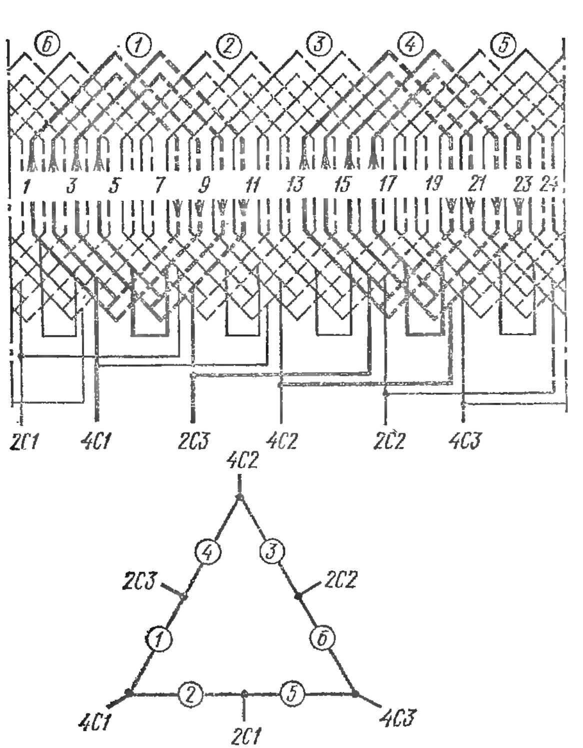


Рис. 65. Двухслойная обмотка с концентрическими катушками на две частоты вращения при $2p=4/2$, $z=24$, $a=1/2$ и соединении фаз Δ/YY

У многоскоростного двигателя к сети подключается одна из обмоток. Если эта обмотка с переключением чисел полюсов и включается на высшую скорость, то часть выводов подключается к сети, а остальные выводы от нее при соединении фаз Δ/YY за-

мыкаются накоротко. Так, например, при включении обмотки $2p=8/4$ на низшую частоту вращения к сети присоединяются выводы 8С1, 8С2, 8С3, выводы 4С1, 4С2 и 4С3 остаются свободными. При включении на высшую частоту соединяются между собой выводы 8С1, 8С2, 8С3, напряжение подается на выводы 4С1, 4С2 и 4С3.

В последние годы разработаны схемы однообмоточных двухскоростных двигателей с соотношением чисел полюсов, не равным 1 : 2 (рис. 66). Обмотка выполняется катушками с разными числами витков.

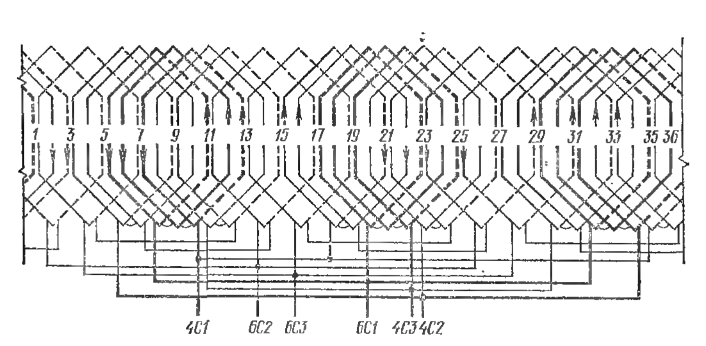


Рис. 66. Одно-двухслойная обмотка на две частоты вращения с соединением в тройную звезду и выводами из нулевых точек при $2p=6$, $z=36$

21. Рабочие схемы трехфазных волновых обмоток с видом на хомутики

Для выполнения обмотки нет необходимости иметь полную схему, пользование которой затруднено ввиду ее громоздкости и малой наглядности. Для этой цели используют рабочие схемы с видом на хомутики (рис. 67), которые содержат все необходимые данные. В них буквами в кружках *А*, *Б* и *Z* обозначены номера пазов, а буквами *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* — числа хомутиков, расположенных между выводами фаз и промежуточных соединений. Числа хомутиков, соответствующие буквам при разных числах пазов и полюсов, даны в табл. 38.

Соединения волновых обмоток с использованием рабочих схем выполняют следующим образом. После укладки нижнего слоя обмотки отмечают первый паз, а также лобовые части нижних стержней пазов *А* и *Б*. Потом укладывают все верхние стержни и приступают к соединениям. На стороне, противоположной выводам, верхний стержень паза *1* соединяется с нижним стержнем паза *А*, после чего выполняются подряд все соединения на этой стороне между верхними и нижними стержнями, а затем переходят на сторону выводов. На верхний стержень паза *1* надевают вывод *Р1* — начало фазы. Нижний стержень паза *Б* соединяют с верхним стержнем паза *Z*, если обмотка с укороченными переходами (рис. 67), или с верхним стержнем паза *2*, если обмотка с укороченными и удлиненными переходами (рис. 68). Далее в обмотке с укороченными переходами (см. рис. 67) соединяют нижние стерж-

ни пазов (*Б—1*), (*Б—2*), (*Б—3*) и т. д. соответственно с верхними стержнями пазов (*Z—1*), (*Z—2*), (*Z—3*) и т. д., выполняют *a* таких соединений слева от начала фазы, оставляя нижний стержень слева для прикрепления промежуточного соединения. Затем справа от начала фазы аналогичным образом выполняют *b* соединений верхних и нижних стержней, оставляя нижний стержень справа для конца промежуточного соединения. Далее опять соединяют *c* пар верхних и нижних стержней и на верхний стержень справа надевают вывод *P4* — конец первой фазы. Соединив *d* пар верхних и нижних стержней, находят нижний стержень для начала промежуточного соединения второй фазы и т. д.

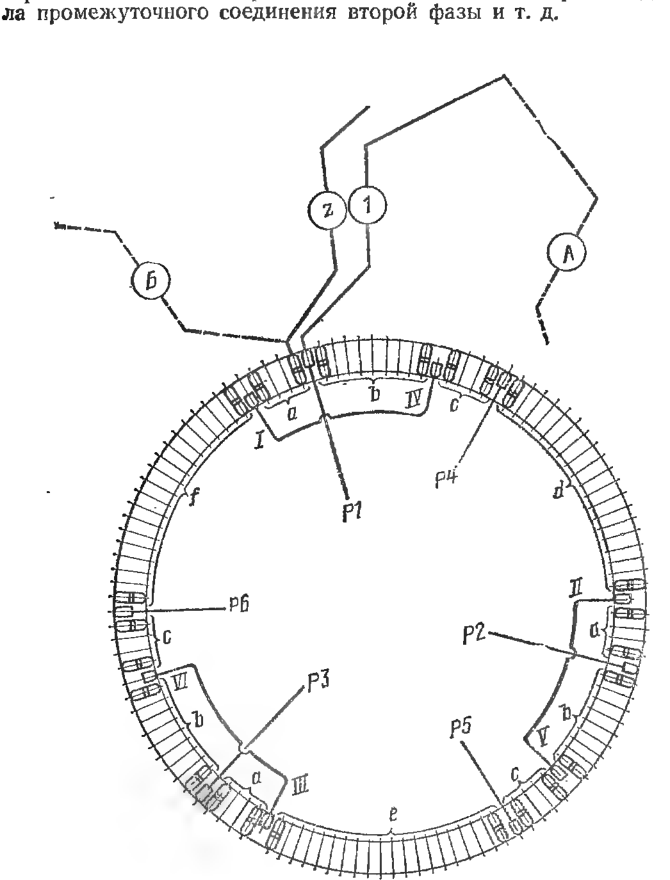


Рис. 67. Общая рабочая схема с укороченными переходами

Сборка соединений обмоток с укороченными и удлиненными переходами осуществляется аналогично в соответствии с рис. 68 и табл. 38.

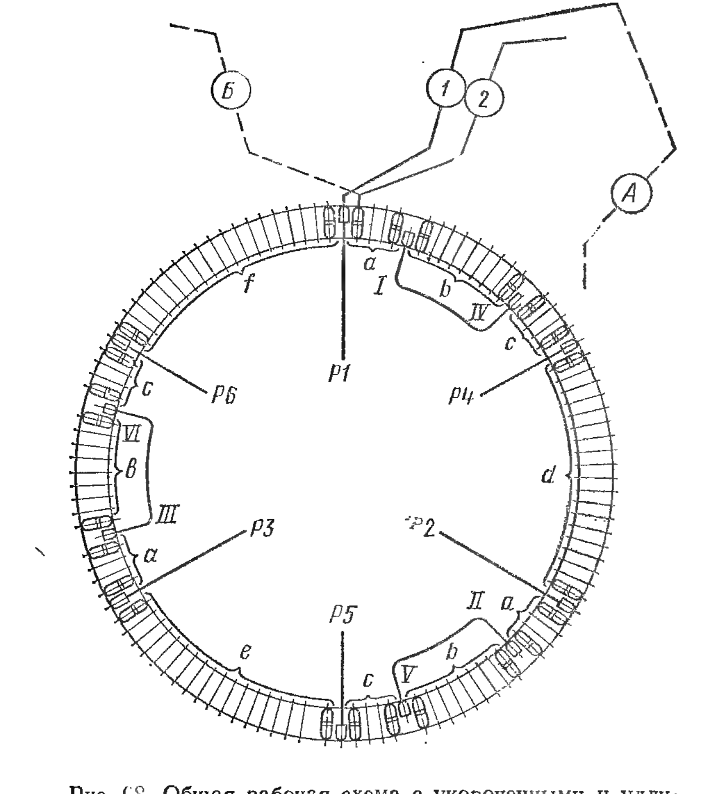


Рис. 68. Общая рабочая схема с укороченными и удлиненными переходами

Таблица 38. Номера пазов и числа хомутиков для рабочих схем (см. рис. 67 и 68)

Число полюсов 2 *p*	Число пазов	Число пазов на полюс и фазу	Номера пазов		Числа хомутиков					
			A	*Б*	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
4	18	1,5	5	14	1	3	0	0	0	0
4	24	2,0	7	19	1	4	1	0	0	0
4	30	2,5	8	23	2	5	1	0	0	0
4	36	3,0	10	28	2	6	2	0	0	0
4	42	3,5	11	32	3	7	2	0	0	0
4	48	4,0	13	37	3	8	3	0	0	0

Продолжение табл. 38

Число полюсов 2 *p*	Число пазов	Число пазов на полюс и фазу	Номера пазов		Числа хомутиков					
			А	*Б*	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
4	54	4,5	14	41	4	9	3	0	0	0
4	60	5,0	16	46	4	10	4	0	0	0
4	66	5,5	17	50	5	11	4	0	0	0
4	72	6,0	19	55	5	12	5	0	0	0
4	84	7,0	22	64	6	14	6	0	0	0
4	96	8,0	25	73	7	16	7	0	0	0
6	27	1,5	5	23	1	3	0	0	9	0
6	36	2,0	7	31	1	4	1	0	12	0
6	45	2,5	8	38	2	5	1	0	15	0
6	54	3,0	10	46	2	6	2	0	18	0
6	63	3,5	11	53	3	7	2	0	21	0
6	72	4,0	13	61	3	8	3	0	24	0
6	81	4,5	14	68	4	9	3	0	27	0
6	90	5,0	16	76	4	10	4	0	30	0
6	99	5,5	17	83	5	11	4	0	33	0
6	108	6,0	19	91	5	12	5	0	36	0
6	126	7,0	22	106	6	14	6	0	42	0
6	144	8,0	25	121	7	16	7	0	48	0
8	36	1,5	5	32	1	3	0	6	6	6
8	48	2,0	7	43	1	4	1	8	8	8
8	60	2,5	8	53	2	5	1	10	10	10
8	72	3,0	10	64	2	6	2	12	12	12
8	84	3,5	11	74	3	7	2	14	14	14
8	96	4,0	13	85	3	8	3	16	16	16
8	108	4,5	14	95	4	9	3	18	18	18
8	120	5,0	16	106	4	10	4	20	20	20
8	132	5,5	17	116	5	11	4	22	22	22
8	144	6,0	19	127	5	12	5	24	24	24
8	168	7,0	22	148	6	14	6	28	28	28
8	192	8,0	25	169	7	16	7	32	32	32
10	45	1,5	5	41	1	3	0	9	9	9
10	60	2,0	7	55	1	4	1	12	12	12
10	75	2,5	8	68	2	5	1	15	15	15
10	90	3,0	10	82	2	6	2	18	18	18
10	105	3,5	11	95	3	7	2	21	21	21
10	120	4,0	13	109	3	8	3	24	24	24
10	135	4,5	14	122	4	9	3	27	27	27
10	150	5,0	16	136	4	10	4	30	30	30
10	165	5,5	17	149	5	11	4	33	33	33

Число полюсов 2*p*	Число пазов	Число пазов на полюс и фазу	Номера павов		Числа комутиков					
			A	*Б*	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
12	54	1,5	5	50	1	3	0	9	18	9
12	72	2,0	7	67	1	4	1	12	24	12
12	90	2,5	8	83	2	5	1	15	30	15
12	108	3,0	10	100	2	6	2	18	36	18
12	126	3,5	11	116	3	7	2	21	42	21
12	144	4,0	13	133	3	8	3	24	48	24
12	162	4,5	14	149	4	9	3	27	54	27
14	63	1,5	5	59	1	3	0	15	15	15
14	84	2,0	7	79	1	4	1	20	20	20
14	105	2,5	8	98	2	5	1	25	25	25
14	126	3,0	10	118	2	6	2	30	30	30
14	147	3,5	11	137	3	7	2	35	35	35
14	168	4,0	13	157	3	8	3	40	40	40
16	72	1,5	5	68	1	3	0	18	18	18
16	96	2,0	7	91	1	4	1	24	24	24
16	120	2,5	8	113	2	5	1	30	30	30
16	144	3,0	10	136	1	6	2	36	36	36
16	168	3,5	11	158	3	7	2	42	42	42
16	192	4,0	13	181	3	8	3	48	48	48
18	81	1,5	5	77	1	3	0	18	27	18
18	108	2,0	7	103	1	4	1	24	36	24
18	135	2,5	8	128	2	5	1	30	45	30
18	162	3,0	10	154	2	6	2	36	54	36
18	189	3,5	11	179	2	7	2	42	63	42
20	90	1,5	5	86	1	3	0	24	24	24
20	120	2,0	7	115	1	4	1	32	32	32
20	150	2,5	8	143	2	5	1	40	40	40
20	180	3,0	10	172	2	6	2	48	48	48
22	99	1,5	5	95	1	3	0	27	27	27
22	132	2,0	7	127	1	4	1	36	36	36
22	165	2,5	8	158	2	5	1	45	45	45
22	198	3,0	10	190	2	6	2	54	54	54
24	108	1,5	5	104	1	3	0	27	36	27
24	144	2,0	7	139	1	4	1	36	48	36
24	180	2,5	8	173	2	5	1	45	60	45
24	216	3,0	10	208	2	6	2	54	72	54

22. Двухфазные обмотки асинхронных микродвигателей

Асинхронные микродвигатели, предназначенные для включения в однофазную сеть, имеют две обмотки на статоре (две фазы): главную, или рабочую *A*, и вспомогательную, или пусковую *B* (рис. 69, *а*). Фаза *B* включается только на период пуска. Для получения сдвига токов в фазах во времени она имеет или повышенное сопротивление, или пусковой конденсатор (рис. 69, *б*). Повышенное сопротивление обеспечивается малым сечением провода обмотки или выполнением части обмотки бифилярными катушками.

Асинхронные микродвигатели, в которых фаза *B* включается только на период пуска, называются электродвигателями с пусковыми элементами.

Изготовляются также асинхронные микродвигатели без пусковой фазы (рис. 69, *в*). В них обмотка распределена примерно на ²/₃ окружности статора; на время пуска часть обмотки шунтируется конденсатором.

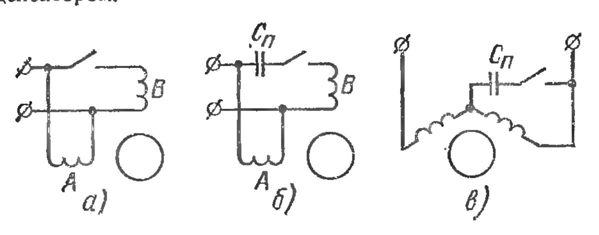


Рис. 69. Схема включения асинхронных микродвигателей с пусковой обмоткой:

а — с повышенным активным сопротивлением, *б* — с пусковым конденсатором, *в* — без специальной пусковой фазы

Широкое применение находят также асинхронные микродвигатели для работы от однофазной сети, в которую постоянно включены обе фазы. Для обеспечения сдвига токов последовательно с фазой *B* (рис. 70, *а*) или параллельно фазе *A* (рис. 70, *б*) включается рабочий $C_р$ конденсатор. Если необходимо получить высокий пусковой момент на время пуска, включается дополнительно к рабочему пусковой конденсатор $C_п$. Такие микродвигатели по

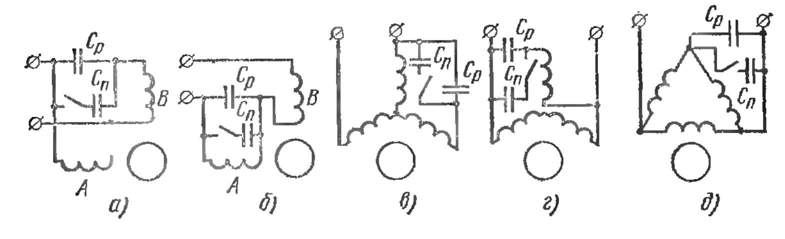


Рис. 70. Схемы включения асинхронных конденсаторных микродвигателей:

а — с параллельным соединением фаз *A* и *B*, *б* — с последовательным соединением фаз *A* и *B*, *в* — с тремя фазами, соединенными звездой, *г* — с тремя фазами, имеющими выводы концов, *д* — с тремя фазами, соединенными треугольником

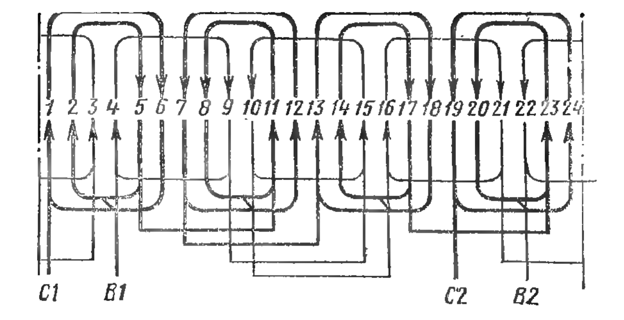


Рис. 71. Однослойная (концентрическая вразвалку) обмотка двигателя с пусковым элементом при $2p=4$, $z=24$

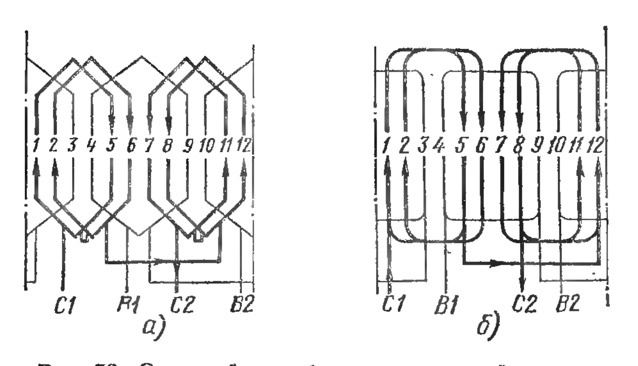


Рис. 72. Однослойные обмотки двигателей с пусковым элементом при $2p=2$, $z=12$:

а — шаблонная вразвалку, *б* — концентрическая вразвалку

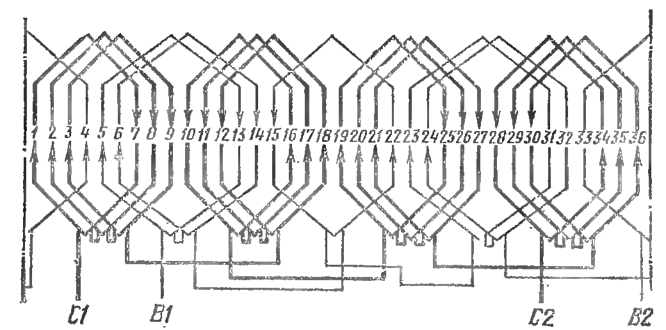


Рис. 73. Однослойная обмотка (шаблонная вразвалку) двигателя с пусковым элементом при $2p=4$, $z=36$

принципу действия относятся к двухфазным, но так как их включают в однофазную сеть, а к вспомогательной фазе обычно постоянно включен конденсатор, то они и называются однофазными конденсаторными микродвигателями в отличие от однофазных двигателей с пусковыми элементами.

Рис. 74. Однослойная обмотка (концентрическая вразвалку) с бифилярными катушками при $2p=4$, $z=24$:
а — бифилярная катушка изображена в виде двух секций, *б* — бифилярная катушка изображена в виде целой катушки

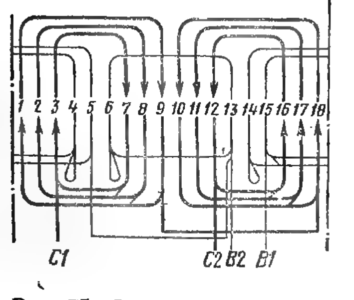


Рис. 75. Однослойная обмотка (концентрическая вразвалку) с бифилярными катушками при $2p=2$, $z=18$

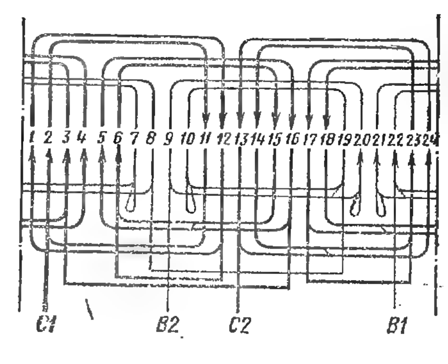


Рис. 76. Однослойная обмотка (концентрическая с разбивкой катушечной группы на три части) с бифилярными катушками при $2p=2$, $z=24$

В конденсаторных микродвигателях используют также трехфазные обмотки на статоре (рис. 70, *в*, *г*, *д*); они могут работать и от трехфазной сети при соединении обмоток звездой или треугольником без конденсаторов.

В двухфазных обмотках асинхронных микродвигателей с пусковыми элементами фаза *А* обычно занимает $^2/_3$, а фаза B — $^1/_3$ общего числа пазов. В конденсаторных микродвигателях каждая из фаз занимает половину пазов.

В асинхронных микродвигателях наибольшее применение нашли однослойные обмотки благодаря простоте их выполнения и большему коэффициенту заполнения паза медью.

Типичные схемы двухфазных однослойных обмоток асинхронных микродвигателей с пусковыми элементами приведены на рис. 71—76.

В обмотке с бифилярными катушками надо учитывать, что в каждой катушке вспомогательной фазы часть витков намотана встречно. Это уменьшает число эффективных проводников в пазу, нейтрализует действие такого же количества витков, намотанных в основном направлении, поэтому для нахождения числа эффективных витков в катушке (эффективных проводников в пазу) надо из общего числа вычесть удвоенное число встречно намотанных витков. Если, например, в пазу лежит катушка, в которой всего 81 виток, из них встречно намотаны 22, то число эффективных проводников в пазу будет: $81-2\cdot22=37$.

Для определения числа встречно намотанных витков при известных общем числе проводников в пазу и числе эффективных проводников в пазу надо произвести обратное действие, т. е. из общего числа вычесть число эффективных проводников и полученный результат разделить на два. При общем числе проводников 81 и числе эффективных — 37 число встречно намотанных витков должно быть: $(81-37)/2=22$.

Бифилярную катушку можно получить, если уложить в одни и те же пазы две секции катушки, одна из которых поворачивается на 180° вокруг параллельной пазам оси. Правая и левая стороны повернутой секции при этом меняются местами (рис. 77). В пазах, где расположена бифилярная катушка, ток проходит по одной секции в одном направлении, по другой — в противоположном. Полярность полюсов определяется направлением тока в катушке с большим числом витков, поэтому секцию с бо́льшим числом витков условно называют основной, а с меньшим — бифилярной.

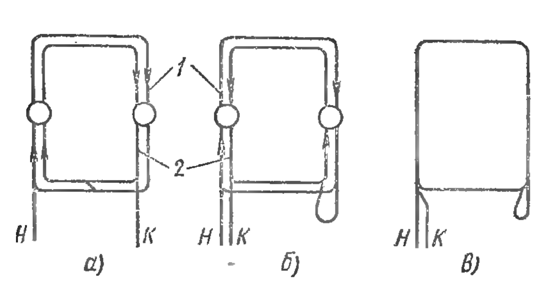


Рис. 77. Выполнение бифилярной катушки:

а — катушка, разделенная на две секции, *б* — бифилярная катушка, *в* — обозначение бифилярной катушки на схеме; *1* — основная секция, *2* — бифилярная секция, *Н* и *К* — начало и конец катушки

На рис. 74, *а* представлена обмотка, вспомогательная фаза которой выполнена бифилярными катушками. Она условно показана внутри основной фазы. Обычно бифилярные катушки на схемах изображаются в виде целой катушки с петлей, в которой изменяется направление тока (рис. 74, *в*).

Бифилярные катушки и катушечные группы должны быть соединены таким образом, чтобы полярность под соседними полюсами вспомогательной фазы чередовалась; полярность же полюсов определяется направлением тока в основных секциях.

Типичные схемы однофазных конденсаторных микродвигателей приведены на рис. 78—82.

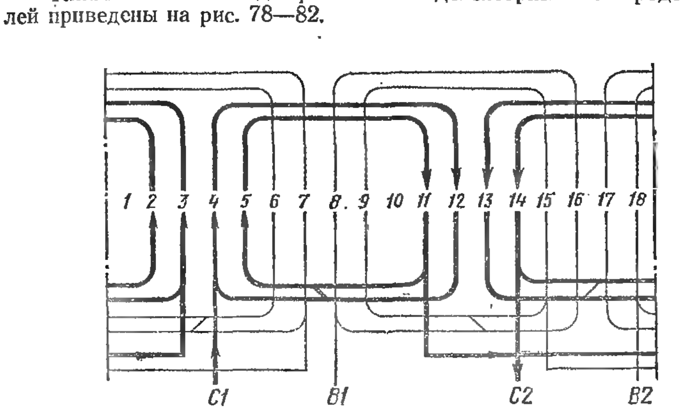


Рис. 78. Однослойная обмотка (концентрическая вразвалку) конденсаторного двигателя при $2p=2$, $z=18$

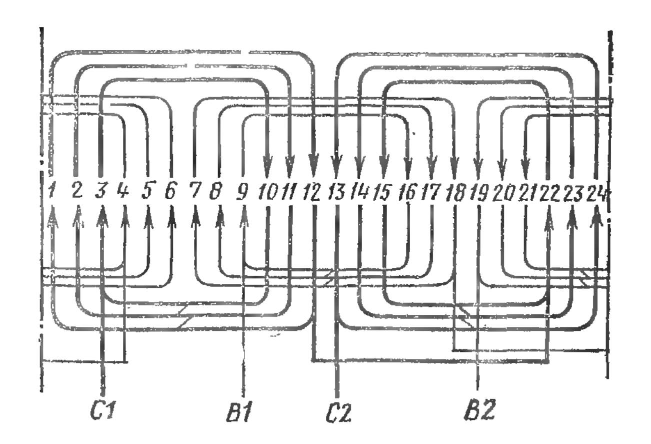


Рис. 79. Однослойная обмотка (концентрическая вразвалку) конденсаторного двигателя при $2p=2$, $z=24$

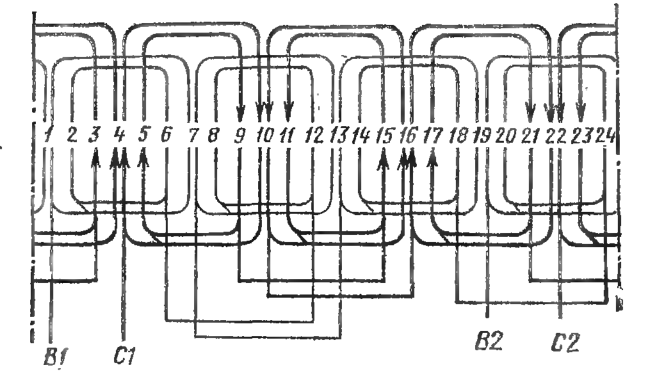


Рис. 80. Однослойная обмотка (концентрическая с «расчесанными» катушками) конденсаторного двигателя при $2p=4$, $z=24$

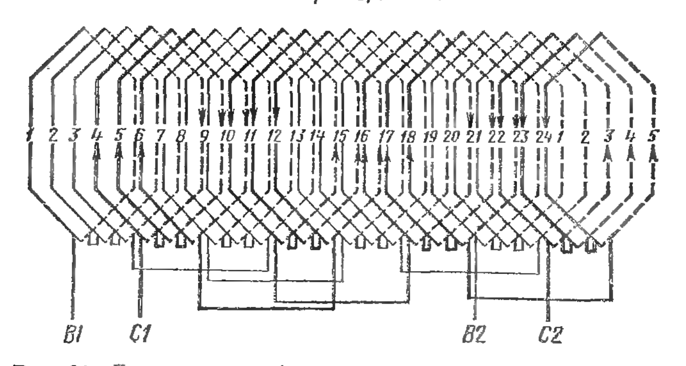


Рис. 81. Двухслойная обмотка конденсаторного двигателя при $2p=4$, $z=24$, $q_A=q_B=3$, $y_A=y_B=5$ (1—6)

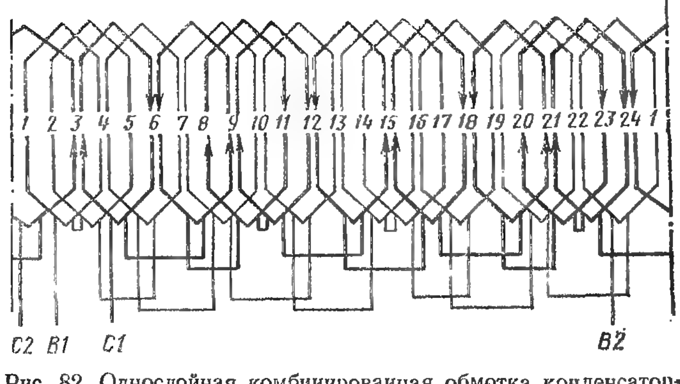


Рис. 82. Однослойная комбинированная обмотка конденсаторного двигателя при $2p=8$, $z=24$, $q_A=q_B=1^1/_2$, $y_A=y_B=3$ (1—4)

В ряде случаев для конденсаторных двигателей характерно наличие в обеих фазах «расчесанных» катушек с половинным числом витков (рис. 80).

Обмотка, представленная на рис. 82, из-за дробного числа пазов на полюс имеет признаки шаблонной вразвалку и двухслойной обмоток и поэтому названа комбинированной.

V. РАСЧЕТЫ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ

23. Выбор и расчет основных параметров

Двухслойные обмотки применяют в трехфазных двигателях единых серий при наружном диаметре статора больше 200—250 мм, однослойные обмотки используют обычно при меньших диаметрах.

Шаг обмотки в двухслойных обмотках статоров асинхронных двигателей определяется по формуле $y=\beta z_1/(2p)$, где β — укорочение шага; z_1 — число пазов статора; $2p$ — число полюсов.

Для обмоток с числом полюсов $2p>2$ принимают $\beta=0{,}78\div0{,}83$; при $2p=2$ укорочение берут $\beta=0{,}58\div0{,}63$.

Таблица 39. Обмоточные коэффициенты трехфазных однослойных обмоток

q	k_w	q	k_w
1	1,000	4	0,958
1,5	0,960	4,5	0,955
2	0,966	5	0,957
2,5	0,957	6	0,957
3	0,960	8	0,956
3,5	0,956		

Обмоточный коэффициент k_w однослойных обмоток в трехфазных двигателях зависит от числа пазов на полюс и фазу q (табл. 39), двухслойных — также и от шага y (табл. 40).

Большое влияние на степень повреждаемости обмотки при укладке имеет технологический коэффициент заполнения паза, определяемый формулой: $f_п=nD^2/F'$, где n — число проводников в

пазу; D — диаметр провода с изоляцией, мм; F' — площадь сечения паза в свету за вычетом пазовой изоляции и клина, мм^2.

Механические нагрузки на изоляцию зависят от коэффициента заполнения паза $f_п$, от типа изоляции паза, марки и диаметра провода. Оптимальные значения $f_п$ (табл. 41) обеспечивают хорошую производительность и сохранение изоляции при укладке обмотки.

Для ускорения расчетов при ремонте обмоток и предварительном выборе диаметра провода часто используют более удобный в этих случаях коэффициент заполнения паза, определяемый как отношение площади изолированных проводников к площади паза, $k_п = 0{,}785nD^2/F$.

Этот коэффициент упрощает расчет, так как при его применении площадь паза определяется без учета изоляции. Он (табл. 42) зависит от формы паза, типа обмотки и мощности двигателя.

Полное число проводников в пазу $n = n_{эл}N$, где $n_{эл}$ — число элементарных (параллельных) проводников; N — число эффективных проводников в пазу.

При пересчетах обмоток старой обмотке присваивается индекс «ст», новой (после перемотки) индекс «нов»: $U_{ст}$, $U_{нов}$, $N_{ст}$, $N_{нов}$ и т. д.

Площади пазов (мм^2) определяются по следующим формулам:

1) трапецеидальный паз со скругленной частью под клин (рис. 83, *а*) $F_а = 1{,}57r_1^2 + 0{,}5(h_1 - r_1)(b_1 + b_2)$;

2) трапецеидальный паз (рис. 83, *б*) $F_б = 0{,}5h_2(b_1 + b_3) + 0{,}5(h_1 - h_2)(b_1 + b_2)$;

3) грушевидный паз (рис. 83, *в*) $F_в = 1{,}57(r_1^2 + r_2^2) + 0{,}5(h_1 - r_1)(b_1 + b_2)$;

4) трапецеидальный паз со скругленной частью под клин и скруглениями на дне паза (рис. 83, *г*) $F_г = 1{,}57(r_1^2 + r_2^2) + 0{,}5(h_1 - r_1)(b_1 + b_2) + r_2(b_2 - 2r_2)$.

Рис. 83. Формы пазов (*а*, *б*, *в*, *г*) статора для всыпных обмоток

При пересчетах обмоток в тех случаях, когда известны данные старой обмотки (число проводников в пазу n, диаметр D и марка провода), для проверки размещения новой обмотки в пазу используют соотношение $n_{нов}D_{нов}^2 \leq n_{ст}D_{ст}^2$, где $n_{нов}$, $D_{нов}$ — число проводников в пазу и диаметр изолированного провода новой обмотки, мм; $n_{ст}$, $D_{ст}$ — то же, для старой обмотки.

Таблица 40. Обмоточные коэффициенты трехфазных двухслойных обмоток

q	k_w при шаге обмотки по пазам						
	1—3	1—4	1—5	1—6	1—7	1—8	1—9
1	0,866	1,000	0,866	—	—	—	—
$1^1/_2$	—	0,831	0,945	0,945	—	—	—
2	—	—	0,836	0,933	0,966	—	—
$2^1/_4$	—	—	—	0,877	0,941	0,954	0,915
$2^1/_2$	—	—	—	0,827	0,907	0,950	0,950
3	—	—	—	—	0,831	0,902	0,945
$3^1/_2$	—	—	—	—	—	0,831	0,884
4	—	—	—	—	—	—	0,831

Продолжение табл. 40

q	k_w при шаге обмотки по пазам								
	1—10	1—11	1—12	1—13	1—14	1—15	1—16	1—17	1—18
3	0,960	—	—	—	—	—	—	—	—
$3^1/_2$	0,930	0,953	0,953	—	—	—	—	—	—
4	0,885	0,926	0,950	0,958	—	—	—	—	—
$4^1/_2$	0,827	0,877	0,916	0,940	0,954	0,954	—	—	—
5	—	0,829	0,875	0,910	0,935	0,951	0,957	—	—
$5^1/_2$	—	—	0,827	0,869	0,902	0,928	0,945	0,954	0,954
6	—	—	—	0,828	0,866	0,900	0,925	0,942	0,952
8	—	—	—	—	0,719	0,758	0,794	0,828	0,876

Таблица 41. Оптимальные значения $f_п$ для всыпных обмоток при ручной намотке

Пазовая изоляция	Марка провода	$f_п$ при диаметре провода d, мм	
		до 1,25	свыше 1,25
Пленкоэлектрокартон, электрокартон с лакотканью	ПЭЛБО	0,68	0,65
	ПЭВ-2, ПЭМ-2	0,72	0,70
Гибкие миканиты, слюдиниты, слюдопласты, пленкосинтокартоны	ПСД, ПСДК, ПСДТ, ПСДКТ	0,65	0,62
Пленкосинтокартоны, гибкие миканиты, слюдиниты, слюдопласты	ПЭТВ, ПЭТ-155	0,72	0,70

Примечание. Для двухполюсных обмоток коэффициент заполнения паза должен быть уменьшен на 5 %.

Таблица 42. Величина $k_п$ для всыпных обмоток при ручной намотке

Обмотка	Паз	$k_п$ при мощности, кВт		
		до 1	1—10	10—100
Однослойная	Трапецеидальный (см. рис. 83, *а, б, г*)	0,37	0,40	0,43
	Грушевидный (см. рис. 83, *в*)	0,42	0,46	0,50
Двухслойная	Трапецеидальный (см. рис. 83, *а, б, г*)	0,36	0,37	0,40
	Грушевидный (см. рис.. 83, *в*)	0,37	0,40	0,43

24. Определение числа полюсов трехфазной обмотки статора

Число полюсов для двухслойной обмотки при известном шаге $2p \approx 0{,}8\ z_1/y$, где z_1 — число пазов статора; y — шаг обмотки статора. При получении по формуле значения больше двух, но меньше четырех следует принять $2p=2$. Например, при $z_1=36$ и $y=10$ $2p \approx 0{,}8 \cdot 36/10 \approx 2{,}9 \approx 2$.

Число полюсов для однослойной или двухслойной обмотки при известном числе пазов на полюс и фазу q $2p=z_1/(3q)$.

В однослойных концентрических и шаблонных обмотках, где катушки расположены одна внутри другой, q можно легко определить по расположению лобовых частей.

Например, в обмотках (см. рис. 12 и 15) выделяем катушечную группу или полугруппу. На рис. 12 катушечная группа расположена в пазах *1, 2* и *7, 8*; на рис. 15 (обмотка вразвалку) полугруппа занимает пазы *3, 4* и *13, 14*. Группа (полугруппа) охватывает две фазы, т. е. число пазов $2q$. На рис. 12 — это пазы *3, 4, 5, 6*, т. е. $2q=4$, и, следовательно, $q=2$, а на рис. 15 — пазы *5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12*, т. е. $2q=8$ и $q=4$.

Если невозможно по обмотке определить q и y, то число полюсов можно предварительно найти по формуле:

$$2p \approx (0{,}5 \div 0{,}6) \cdot \frac{D_i}{h_c},$$

где D_i — внутренний диаметр статора, мм; h_c — высота спинки статора (расстояние от наружной поверхности сердечника до дна паза), мм.

Правильность выбора числа полюсов в сомнительных случаях следует проверить по соотношению чисел пазов ротора z_2 и статора z_1 (табл. 43).

25. Расчет обмоточных данных статора трехфазного асинхронного двигателя со всыпной обмоткой *

Полюсное деление** (см) $\tau=3{,}14D_i/2p$, где D_i — внутренний диаметр статора, см.

---

* Расчет обмоточных данных приведен для двигателей старых серий. Данные для серий А2, АО2 и 4А приведены в конце справочника.

** Часть длины окружности расточки статора, приходящейся на один полюс.

Таблица 43. Числа пазов короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей

2p	z_1	z_2 при пазах	
		прямых	скошенных
2	12	9, 15	—
	18	11, 12, 15, 21, 22	14, 18, 19, 22, 26, 28, 30, 31, 33, 34, 35
	24	15, 16, 17, 19, 32	18, 19, 20, 22, 26, 31, 33, 34, 35
	30	22, 38	19, 20, 21, 23, 24, 37, 39, 40
	36	26, 28, 44, 46	25, 27, 29, 43, 45, 47
	42	32, 33, 34, 50, 52	—
	48	38, 40, 56, 58	37, 39, 41, 55, 57, 59
4	12	9	15
	18	10, 14	18, 22
	24	15, 16, 17, 32	16, 17, 18, 20, 30, 32, 34, 45, 48
	36	26, 44, 46	24, 27, 28, 30, 32, 34, 45, 48
	42	34, 50, 52, 54	33, 34, 38, 51, 53
	48	34, 38, 56, 58, 62, 64	36, 38, 39, 40, 44, 57, 59
	60	50, 52, 68, 70, 74	48, 49, 51, 56, 64, 69, 71
	72	62, 64, 80, 82, 86	61, 63, 68, 76, 81, 83
6	63	26, 46, 48	28, 33, 47, 49, 50
	54	44, 64, 66, 68	42, 43, 50, 51, 65, 67
	72	56, 58, 62, 82, 84, 86, 88	57, 59, 60, 61, 83, 85, 87, 90
	90	74, 76, 78, 80, 100, 102, 104	75, 77, 79, 101, 103, 105
8	36	—	28
	48	34, 36, 44, 62, 64	35, 44, 61, 63, 65
	72	56, 58, 86, 88, 90	56, 57, 59, 85, 87, 89
	84	66, 68, 70, 98, 100, 102, 104	68, 69, 71, 97, 99, 101
	96	72, 82, 110, 112, 114	79, 80, 81, 83, 109, 111, 113
10	60	44, 46, 74, 76	57, 69, 77, 78, 79
	90	68, 72, 74, 76, 104, 106, 108, 110, 112, 114	70, 71, 73, 87, 93, 107, 109
	120	86, 89, 92, 94, 96, 98, 102, 104, 106, 134, 136, 138, 140, 142, 144, 146	99, 101, 103, 117, 123, 137, 139
12	72	56, 64, 80, 88	69, 75, 80, 89, 91, 92
	90	68, 70, 74, 88, 98, 106, 108, 110	71, 73, 86, 87, 93, 94, 107, 109
	108	86, 88, 92, 110, 116, 124, 128, 130, 132	84, 89, 91, 104, 105, 111, 112, 125, 127
	144	124, 128, 136, 152, 160, 164, 166, 168, 170, 172	125, 127, 141, 147, 161, 163

Площадь полюсного деления (см²) $Q_\delta = \tau l$, где l — длина статора (без вентиляционных каналов), см. Число последовательно соединенных витков w в фазе обмотки находим по табл. 44. Окон-

чательное число витков уточняется после определения числа проводников в пазу и проверки индукций в воздушном зазоре, спинке статора и зубцах (табл. 45).

Высота спинки статора (см): $h_c=0,5(D_a-D_i-2h_п)$, где D_a — наружный диаметр статора, см; $h_п$ — глубина паза, см.

Число эффективных проводников в пазу $N=6wa/z_1$, где a — число параллельных ветвей; z_1 — число пазов статора.

Таблица 44. Число витков в зависимости от площади полюсного деления

Q_δ, см²	w при $2p=2$ и напряжении $U_ф$, В				w при $2p\geq2$ и напряжении $U_ф$, В			
	127	220	289	380	127	220	289	380
20	—	—	—	—	610	1060	1390	1830
22	—	—	—	—	565	980	1290	1700
24	—	—	—	—	520	900	1180	1560
26	—	—	—	—	480	830	1090	1440
28	—	—	—	—	440	760	1000	1320
30	540	935	1230	1620	410	710	930	1230
35	460	800	1040	1380	350	605	800	1050
40	400	690	910	1200	305	530	695	920
45	355	615	810	1060	270	470	615	810
50	320	555	730	960	240	415	545	720
55	290	500	660	870	220	380	500	660
60	265	460	600	790	200	346	455	600
70	225	390	510	670	170	296	390	510
80	195	340	444	585	149	258	340	446
90	172	300	390	516	132	230	300	396
100	155	270	350	465	119	206	270	357
110	141	244	320	423	108	187	246	324
120	130	225	296	390	99	170	226	297
130	120	208	273	360	92	160	210	276
140	112	194	255	336	86	149	195	258
150	105	182	239	315	80	138	182	240
160	98	170	222	294	75	130	170	225
170	91	158	207	273	70	121	159	210
180	85	147	193	255	66	114	150	198
190	80	138	182	240	62	107	141	186
200	76	132	173	228	58	100	132	174
225	68	118	154	204	52	90	118	156
250	61	106	138	183	47	81	107	141
275	55	95	125	165	43	75	98	129
300	50	87	113	150	39	68	89	117
325	46	80	104	138	36	62	82	108
350	42	73	96	126	33	57	75	99
375	39	68	89	117	31	54	71	93
400	36	63	82	108	28	49	64	84
450	33	57	75	99	26	45	59	78
500	30	52	68	90	23	40	52	69
550	27	47	62	82	—	—	—	—
600	25	43	57	75	—	—	—	—

Таблица 45. Значение индукций

Индукции	Значение индукции, Тл, при мощности двигателя P, кВт		
	до 1	1—10	10—100
B_δ	0,3—0,6	0,6—0,7	0,7—0,9
B_c^*	1,1—1,5	1,2—1,6	1,3—1,6
B_z	1,3—1,5	1,4—1,6	1,4—1,8

* Индукция в спинке статора может быть меньше указанных значений при унификации штампов для разных чисел — полюсов, например для $2p=4$ и 6; 6 и 8, когда высота спинки определяется двигателем с меньшим числом полюсов.

Число пазов на полюс и фазу $q=z_1/(2pm)$, где $m=3$ — число фаз.

Индукция в воздушном зазоре (Тл): $B_\delta=64k_E U_ф/(k_w Q_\delta w)$, где k_E — отношение эдс к напряжению (табл. 46).

Таблица 46. Значения коэффициента k_E

$2p$	k_E при диаметре D_a, см							
	6	8	10	15	20	30	40	50
2	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99
4	0,94	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98
6	0,91	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98
8	—	—	—	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97
10	—	—	—	—	0,89	0,92	0,94	0,95
12	—	—	—	—	—	0,90	0,92	0,93

Индукция в спинке статора (Тл): $B_c=0{,}36B_\delta\tau/h_c$.

Пазовое деление (см): $t=3{,}14D_i/z_1$.

Индукция в зубцах (Тл): $B_z=B_\delta t/(0{,}93\,b_z)$, где b_z — минимальная толщина зубца, см.

Диаметр провода с изоляцией (мм): $D=\sqrt{k_п F/(0{,}785n)}$.

Диаметр изолированного провода при ручной намотке в асинхронных машинах мощностью 0,6 кВт и выше должен быть меньше ширины шлица (прорези) паза на 1,5—2 мм. При коэффициенте $k_п=0{,}4$ диаметр изолированного провода можно определить без вычисления по рис. 84, 85. При других значениях $k_п$ полученное значение надо умножить на коэффицнент k (табл. 47).

Таблица 47. Коэффициент k при различных значениях $k_п$

$k_п$	k	$k_п$	k
0,36	0,95	0,43	1,04
0,37	0,96	0,46	1,08
0,40	1,00	0,50	1,12

Пример. Определить диаметр изолированного провода при $F = 170$ мм², $n = 82$ и $k_п = 0{,}36$.

По рис. 84 находим, что при $k_п = 0{,}4$ $D = 1{,}02$ мм по табл. 47 $k = 0{,}95$. При $k_п = 0{,}36$ получаем $D = 0{,}95 \cdot 1{,}02 = 0{,}97$ мм. Диаметр провода без изоляции определяется в зависимости от марки провода.

Фазный ток обмотки статора (А): $I_ф = jS_{эл}n_{эл}a$, где j — плотность тока, А/м² (табл. 48); $S_{эл}$ — сечение элементарного проводника, м².

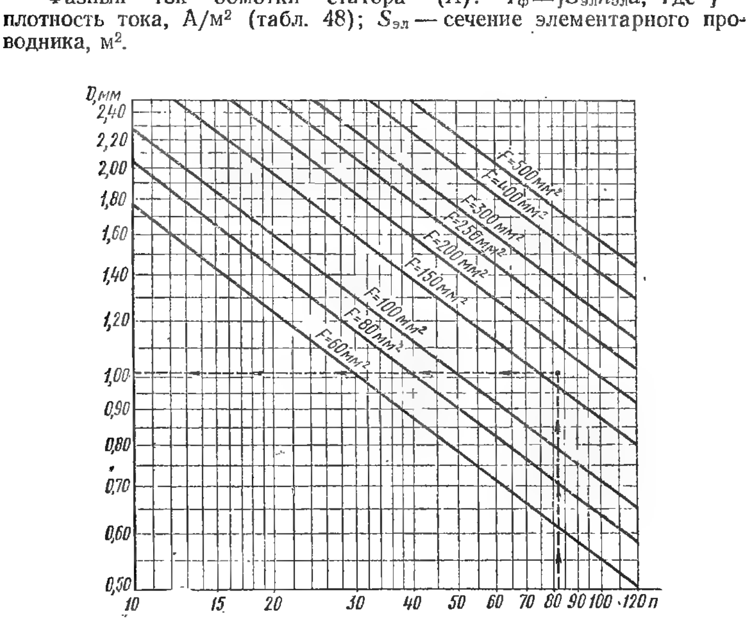


Рис. 84. Определение диаметра изолированного провода D при $k_п = 0{,}4$ и числе проводников в пазу $n = 10 \div 120$

Для определения номинальной мощности для микродвигателей (до 600—1000 Вт) вначале находят полную мощность (В·А): $P' = 3U_ф I_ф$, а затем номинальную мощность (Вт): $P_н = P'\eta\cos\varphi$, где $\eta\cos\varphi$ — энергетический кпд (табл. 49).

Номинальная мощность для малых и средних двигателей (до 100 кВт) при числе полюсов $2p = 2$ и известном $I_ф$ определяется по рис. 86; при $2p = 4$ полученное значение надо уменьшить на 6—8 %, при $2p = 6$; 8 — на 5—15 % (больший процент для двигателей меньшей мощности).

Таблица 48. Плотности тока в асинхронных двигателях

D_a, см	j А/м², в двигателях	
	защищенных	закрытых обдуваемых
130—300	$(6,5—5,5)\cdot 10^6$	$(6,0—4,5)\cdot 10^6$
300—500	$(5,5—4,5)\cdot 10^6$	$(4,5—3,5)\cdot 10^6$

Рис. 85. Определение диаметра изолированного провода D при $k_п=0,4$ и числе проводников в пазу $n=120\div1200$

Таблица 49. Энергетический кпд микродвигателей с короткозамкнутым ротором

2p	η cos φ при полной мощности P′, В·А	
	150—400	400—1000
2	0,4—0,6	0,6—0,7
4	0,3—0,5	0,5—0,6

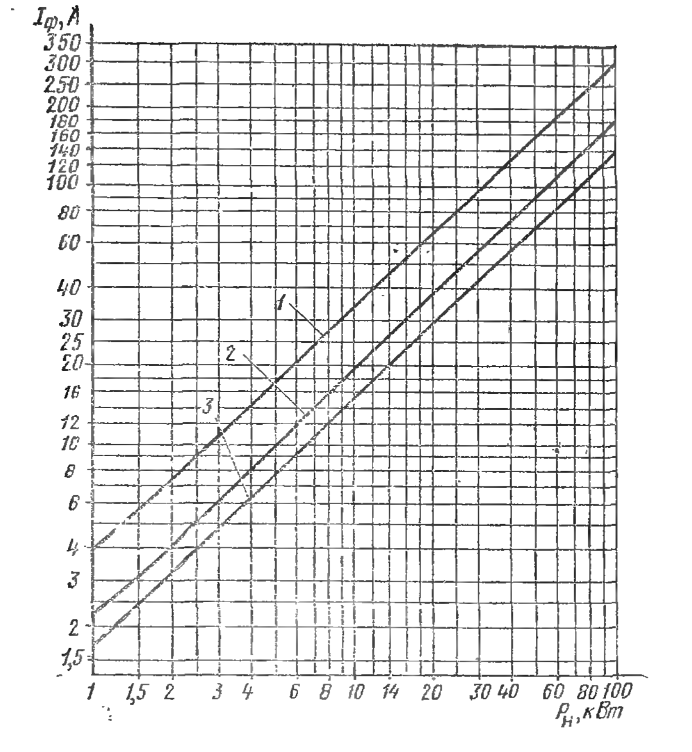


Рис. 86. Зависимость мощности P от тока фазы $I_ф$ при числе полюсов $2p=2$ и напряжении $U_ф$:

1 — 127 В, *2* — 220 В, *3* — 289 В (фазное напряжение при напряжении сети 500 В и соединении фаз звездой)

26. Пересчет обмотки статора на другое напряжение

Число эффективных проводников в пазу: $N_{нов} \doteq (N_{ст}U_{нов}/U_{ст}) \times \times (a_{нов}/a_{ст})$.

Когда число проводников в пазу большое (не менее 25), полученное значение $N_{нов}$ можно округлить до целого числа, так как при этом погрешность будет невелика (не превысит 2,5 %). При числе проводников в пазу меньше 25 дробное значение можно превратить в целое (или близкое к нему) путем увеличения числа параллельных ветвей новой обмотки. В двухслойной обмотке при нечетном числе проводников в пазу необходимо изготовить разновитковые катушки.

Если $a_{нов}=a_{ст}$, новое число эффективных проводников в пазу можно определить по диаграмме рис. 87. Например, при фазном напряжении 220 В число проводников равно 25. На вертикали 220 В находим точку 25, проводим от нее вправо и влево горизонтальную линию и находим число проводников при других напряжениях: 14,5 при 127 В, 33 при 289 В, 43 при 380 В.

Диаметр провода без изоляции при $a_{нов}n_{эл\,нов} = a_{ст}n_{эл.ст}$ определяем по диаграмме рис. 88. Например, при $U_{ст} = 380$ В диаметр провода $d = 1,25$ мм. Проведя от найденной точки 1,25 мм на вертикали 380 В горизонтальную линию, находим диаметры при других стандартных напряжениях: 2,16 мм при 127 В; 1,65 мм при 220 В; 1,43 мм при 289 В. Полученные результаты округляют до ближайших стандартных значений диаметров.

При $a_{нов}n_{эл.нов} \neq a_{ст}n_{эл.ст}$ полученный по рис. 88 диаметр (до округления) умножают на коэффициент k_d (табл. 50).

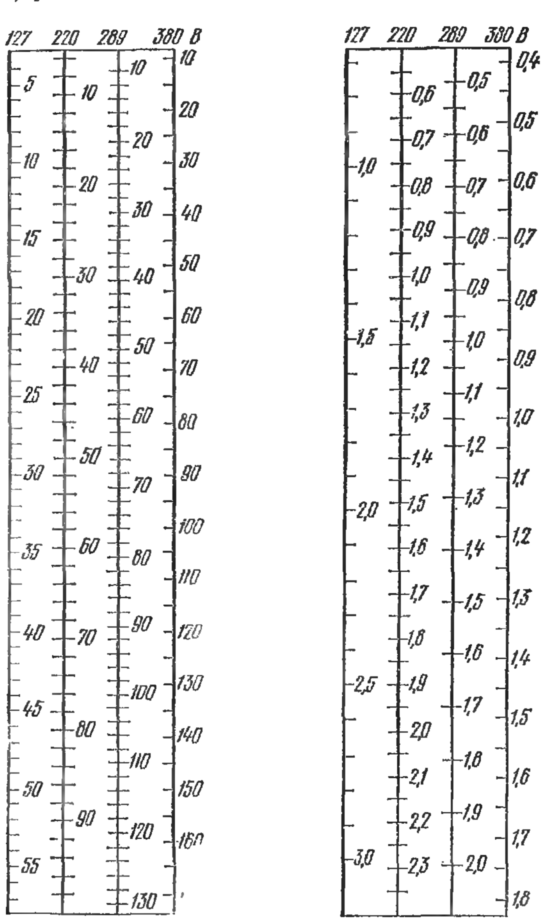


Рис. 87. Диаграмма для определения числа эффективных проводников в пазу при $a_{нов} = a_{ст}$

Рис. 88. Диаграмма для определения диаметра провода без изоляции при $a_{нов}n_{эл.нов} = a_{ст}n_{эл.ст}$

Таблица 50. Значения коэффициента k_d

Произведение $a_{нов}\, n_{эл.\,нов}$	k_d при произведении $a_{ст}\, n_{эл.\,ст}$													
	1	2	3	4	5	6	8	9	10	12	15	16	18	20
1	1	1,41	1,73	2,00	2,24	2,45	2,83	3,0	—	—	—	—	—	—
2	0,71	1,00	1,22	1,41	1,58	1,73	2,00	2,12	2,24	2,45	2,74	2,83	3,00	—
3	0,58	0,82	1,00	1,16	1,29	1,41	1,64	1,73	1,83	2,00	2,24	2,31	2,45	2,58
4	0,50	0,71	0,87	1,00	1,12	1,23	1,41	1,5	1,58	1,73	1,94	2,00	2,12	2,24
5	0,45	0,63	0,78	0,90	1,00	1,1	1,27	1,34	1,41	1,55	1,73	1,79	1,90	2,00
6	0,41	0,58	0,71	0,82	0,91	1,00	1,16	1,22	1,29	1,41	1,58	1,63	1,73	1,83
8	—	0,50	0,61	0,71	0,79	0,87	1,00	1,06	1,12	1,22	1,37	1,41	1,50	1,58
9	—	0,47	0,58	0,67	0,75	0,82	0,94	1,00	1,05	1,16	1,29	1,33	1,41	1,49
10	—	—	0,55	0,63	0,71	0,78	0,90	0,95	1,00	1,1	1,22	1,27	1,34	1,41
12	—	—	0,50	0,58	0,65	0,71	0,82	0,87	0,91	1,00	1,12	1,16	1,22	1,29
15	—	—	—	0,52	0,58	0,65	0,73	0,78	0,82	0,90	1,00	1,03	1,1	1,16
16	—	—	—	0,50	0,56	0,61	0,71	0,75	0,79	0,87	0,97	1,00	1,06	1,12
18	—	—	—	—	0,53	0,58	0,67	0,71	0,75	0,82	0,91	0,94	1,00	1,05
20	—	—	—	—	0,50	0,55	0,63	0,67	0,71	0,78	0,87	0,90	0,95	1,00

Например, по рис. 88 найден диаметр $d=2,16$ мм. В старой обмотке произведение $a_{от}n_{эл.ст}=2\cdot2=4$, в новой обмотке выбрано $a_{нов}n_{эл.нов}=5\cdot2=10$. На пересечении графы 4 и строки 10 находим: $k_d=0,63$. Новый диаметр будет равен $d'=2,16\cdot0,63=1,36$ мм.

27. Пересчет трехфазной обмотки на однофазную

Главная обмотка в однофазном асинхронном двигателе обычно занимает ⅔ пазов сердечника статора. Число проводников в пазу для главной обмотки однофазного двигателя $N_г=(0,5\div0,7)\times\times NU_c/U_ф$, где N — число проводников в пазу трехфазного двигателя; $U_ф$ — номинальное напряжение фазы трехфазного двигателя, В; U_c — напряжение однофазной сети, В.

Меньшие значения числового коэффициента в скобках соответствуют двигателям большей мощности (около 1 кВт) с кратковременным или повторно-кратковременным режимом работы.

Сечение провода без изоляции главной обмотки можно определить по формуле $S_г=SN/N_г$, где S — сечение провода обмотки трехфазного электродвигателя, мм².

Вспомогательная (пусковая) обмотка укладывается в ⅓ пазов статора и обычно выполняется с дополнительным внешним сопротивлением или с бифилярными катушками.

Во вспомогательной обмотке с дополнительным внешним сопротивлением число проводников в пазу: $N_п=(0,7\div1)N_г$; сечение провода (мм²): $S_п=(1,4\div1)S_г$.

Дополнительное сопротивление (Ом) предварительно определяется по формуле $R_п=(1,6\div8)\cdot10^{-3}U_c/S_п$ и окончательно уточняется при испытании электродвигателя.

В пусковой обмотке с бифилярными катушками число проводников в пазу для основной секции $N_п'=(1,3\div1,6)N_г$; число проводников в пазу для бифилярной секции $N_п''=(0,45\div0,25)N_п'$; общее число проводников в пазу $N_п=N_п'+N_п''$; сечение провода $S_п'=S_п''\approx0,5S_г$.

Наилучшие пусковые свойства однофазного двигателя достигаются при применении обмотки с дополнительным внешним сопротивлением, так как имеется возможность увеличить пусковой момент без перемотки обмотки.

Ток (А) в рабочей обмотке однофазного двигателя (при числе параллельных ветвей $a=1$): $I=j_гS_г$, где $j_г$ — плотность тока в рабочей обмотке, А/мм², выбирается в пределах от 6 до 10 А/мм² (большие значения для микродвигателей меньшей мощности).

Полная мощность двигателя (В·А) $P'=U_cI$.

Мощность на валу двигателя (Вт) $P\approx P'\eta\cos\varphi$, где $\eta\cos\varphi$ — энергетический кпд (табл. 51).

Во время пуска однофазный двигатель, переделанный из трехфазного, иногда застревает на низкой частоте вращения. Такое явление часто наблюдается у двухполюсных двигателей. Условия пуска улучшаются при увеличении воздушного зазора и применении двухслойных обмоток с укорочением шага на ⅓ полюсного деления.

В однофазных электродвигателях пусковой момент может значительно снизиться из-за падения напряжения в подводящих проводах при большом пусковом токе, на который однофазные сети обычно не рассчитаны. В этом случае необходимо увеличить сечение подводящих проводов от источника питания.

Таблица 51. Энергетический кпд однофазных асинхронных двигателей с пусковыми элементами

P', В·А	η cos φ при числе полюсов		P' В·А	η cos φ при числе полюсов	
	$2p=2$	$2p=4$		$2p=2$	$2p=4$
100	0,30	0,15	600	0,49	0,38
150	0,32	0,19	800	0,52	0,43
200	0,34	0,22	1000	0,54	0,46
400	0,43	0,31			

28. Включение трехфазных двигателей в однофазную сеть без перемотки

Трехфазный асинхронный двигатель может работать от однофазной сети как однофазный с пусковым элементом или как однофазный конденсаторный с постоянно включенной рабочей емко-

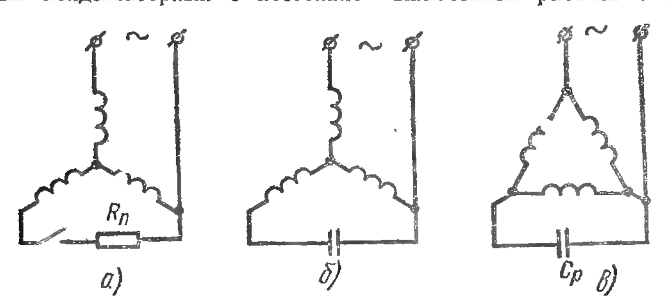


Рис. 89. Схемы включения в однофазную сеть трехфазных двигателей с тремя выводами:

а — схема с пусковым сопротивлением, *б*, *в* — схемы с рабочей емкостью

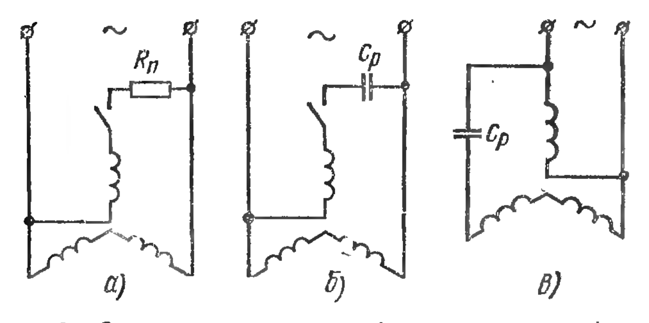


Рис. 90. Схемы включения в однофазную сеть трехфазных двигателей с шестью выводами:

а — схема с пусковым сопротивлением, *б*, *в* — схемы с рабочей емкостью

стью. Применение двигателя в качестве конденсаторного предпочтительнее. Если принять за 100 % мощность трехфазного двигателя, обозначенную на его щитке, то при однофазном включении двигатель может развить 50—70 % этой мощности, а при использовании в качестве конденсаторного — 70—85 % и более. Еще одно преимущество конденсаторного двигателя заключается в том, что отсутствует специальное пусковое устройство, которое необходимо при однофазной схеме для отключения пусковой обмотки после разгона двигателя.

Схему включения (рис. 89, 90) надо выбирать с учетом напряжения сети и номинального напряжения двигателя. Например, при трех выведенных концах обмотки статора (рис. 89) двигатель может быть использован в сети, напряжение которой равно номинальному напряжению двигателя.

При шести выводных концах обмотки двигатель имеет два номинальных напряжения: 127/220 В, 220/380 В. Если напряжение сети равно большему номинальному напряжению двигателя, т. е. $U_с=220$ В при номинальном напряжении 127/220 В или $U_с=380$ В при номинальном напряжении 220/380 В и т. д., то надо пользоваться схемами, приведенными на рис. 89, *а, б*. При напряжении сети, равном меньшему номинальному напряжению двигателя, следует применять схему, показанную на рис. 89, *в*. В этом случае при однофазном включении значительно уменьшается мощность двигателя, поэтому целесообразно применять схемы с рабочей емкостью.

Рабочая емкость $C_р$ (мкФ) для каждой схемы должна иметь определенное значение и может быть подсчитана, исходя из напряжения однофазной сети $U_с$ и номинального тока $I_ф$ в фазе трехфазного двигателя: $C_р \approx kI_ф/U_с$, где k — коэффициент, зависящий от схемы включения. При частоте 50 Гц для схем по рис. 89, *б* и 90, *б* можно принять $k=2800$; для схемы по рис. 89, *в* — $k=4800$; для схемы по рис. 90, *в* — $k=1600$.

Напряжение на конденсаторе $U_к$ также зависит от схемы включения и напряжения сети. Для схем по рис. 89, *б, в* оно может быть принято равным напряжению сети; для схемы по рис. 90, *б* — $U_к \approx 1{,}15U_с$; для схемы по рис. 90, *в* — $U_к=2U_с$.

Номинальное напряжение конденсатора должно быть равно или несколько больше расчетного значения.

Необходимо помнить, что конденсаторы после отключения длительное время сохраняют напряжение на своих зажимах и создают при прикосновении к ним опасность поражения человека электрическим током. Опасность поражения тем выше, чем больше емкость и выше напряжение на включенном в схему конденсаторе. При ремонте или отладке двигателя необходимо после каждого отключения конденсатор разрядить. Для защиты от случайного прикосновения в процессе эксплуатации двигателя конденсаторы должны быть жестко закреплены и ограждены.

Пусковое сопротивление $R_п$ определяют опытным путем, используя регулируемое сопротивление (реостат).

Предварительно $R_п$ может быть подсчитано по формуле (см. с. 110). Если необходимо получить увеличенный момент при пуске двигателя, то параллельно рабочему конденсатору включают пусковой. Его емкость обычно подсчитывают по формуле $C_п \approx (2{,}5 \div 3)C_р$, где $C_р$ — емкость рабочего конденсатора. Пусковой момент при этом получается близким к номинальному моменту трехфазного двигателя.

29. Пересчет обмотки при изменении частоты питающей сети

При изменении частоты $f_{ст}$ на другую $f_{нов}$ число эффективных проводников в пазу изменяется обратно пропорционально частоте: $N_{нов}=N_{ст}f_{ст}/f_{нов}$.

Сечение и диаметр провода изменяются соответственно: $S_{нов}=S_{ст}N_{ст}/N_{нов}$; $d_{нов}=d_{ст}\sqrt{N_{ст}/N_{нов}}$.

Мощность при новой частоте (кВт) $P_{нов}=P_{ст}f_{нов}/f_{ст}$.

В случае значительного повышения частоты (с 50 на 200—400 Гц) мощность, подсчитанная по приведенной формуле, должна быть уменьшена на 15—35 % из-за увеличения потерь в меди обмотки, вызванных явлением поверхностного эффекта, и в стали сердечника.

При пересчете на $f_{нов}>f_{ст}$ следует проверить окружную скорость ротора, так как при повышении частоты вращения в элементах ротора могут возникнуть недопустимо большие механические напряжения.

Частота вращения двигателя изменяется пропорционально отношению частот: $n_{нов}=n_{ст}f_{нов}/f_{ст}$.

30. Расчет массы и сопротивления всыпной обмотки статора

Средняя ширина (см) катушки двухслойной и однослойной цепной обмоток: $\tau_y=3{,}14(D_i+h_п)y/z_1$.

Длина лобовой части (см):

1) двухслойной и однослойной цепной обмоток $l_л=k_л\tau_y+2$, где $k_л$ — коэффициент, выбираемый по табл. 52.

Таблица 52. Коэффициенты $k_л$ и $k_в$ для расчета обмотки

$2p$	Лобовые части не изолированы		Лобовые части изолированы лентой	
	$k_л$	$k_в$	$k_л$	$k_в$
2	1,2	0,26	1,45	0,44
4	1,3	0,40	1,55	0,50
6	1,4	0,50	1,75	0,62
8 и более	1,5	0,50	1,90	0,72

Примечание. Для однослойной цепной обмотки $k_л$ берут на 10—15 % больше.

2) однослойной концентрической обмотки $l_л=1{,}4\tau^*+(2\div5)$. Большие значения в скобках предназначены для более крупных машин.

Вылет лобовой части (см) для двухслойной обмотки (от торца сердечника): $l_в=k_в\tau_y+2$, где $k_в$ — по табл. 52.

Средняя длина полувитка (см) $l_{пв}=l_л+l_1$.

Общая длина проводника (км) на обмотку $L=l_{пв}z_1n\cdot10^{-5}$.

Масса медного провода (кг) без изоляции $M_м=7Ld^2$.

Масса провода (кг) с изоляцией $M=[0{,}876+0{,}124(D/d)^2]M_м$.

Сопротивление фазы трехфазной обмотки (Ом) $r=5{,}85L/S\times(n_{эл}a)^2$.

---

* Формула для вычисления полюсного деления приведена на с. 101.

31. Замена диаметров проводов

Диаметр заменяющего провода и число параллельных проводников подбирают по табл. 53.

Таблица 53. Данные для подбора числа параллельных проводников при изменении диаметра проволоки

Обозначения: d — диаметр проволоки, мм; D — максимальный наружный диаметр провода, мм; $n_{эл}$ — число параллельных (элементарных) проводников; $S_{эф}$ — сечение эффективного проводника, мм²; $v = n_{эл}D^2$ — условная площадь, занимаемая изолированными проводниками, мм².

d	$S_{эф}$ при числе параллельных проводников						v при числе параллельных проводников					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
0,5	0,196	0,393	0,589	0,79	0,98	1,18	0,325	0,65	0,97	1,30	1,62	1,95
0,51	0,204	0,408	0,613	0,82	1,02	1,23	0,336	0,67	1,01	1,35	1,68	2,02
0,53	0,221	0,441	0,662	0,88	1,10	1,32	0,360	0,72	1,08	1,44	1,80	2,16
0,55	0,238	0,475	0,713	0,95	1,19	1,42	0,384	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31
0,56	0,246	0,493	0,739	0,99	1,23	1,48	0,397	0,79	1,19	1,59	1,98	2,38
0,57	0,255	0,510	0,766	1,02	1,28	1,53	0,410	0,82	1,23	1,64	2,05	2,46
0,59	0,273	0,547	0,820	1,09	1,37	1,64	0,436	0,87	1,31	1,74	2,18	2,61
0,60	0,283	0,565	0,848	1,13	1,41	1,70	0,449	0,90	1,35	1,80	2,24	2,69
0,62	0,302	0,604	0,906	1,21	1,51	1,81	0,476	0,95	1,43	1,90	2,38	2,86
0,63	0,312	0,623	0,935	1,25	1,56	1,87	0,490	0,98	1,47	1,96	2,45	2,94

0,64	0,322	0,643	0,965	1,29	1,61	1,93	0,518	1.04	1,56	2.07	2,59	3,11
0,67	0,353	0,705	1,058	1,41	1,76	2,12	0,563	1,13	1,69	2,25	2,81	3,38
0,69	0,374	0,748	1,122	1,50	1,87	2,24	0,593	1.19	1,78	2.37	2,96	3,56
0,71	0,396	0,792	1,188	1,58	1,98	2,38	0,624	1.25	1,87	2,50	3,12	3,74
0,72	0,407	0,814	1,221	1,63	2,04	2,44	0,640	1,28	1,92	2,56	3,20	3,84
0,74	0,430	0,860	1,290	1,72	2,15	2,58	0,689	1,38	2,07	2,76	3,44	4,13
0,75	0,442	0,884	1,325	1,77	2,21	2,65	0,706	1,41	2,12	2,82	3,53	4,23
0,77	0,466	0,931	1,400	1,86	2,33	2,79	0,740	1,48	2,22	2,96	3,70	4,44
0,80	0,503	1,005	1,510	2,01	2,51	3,02	0,792	1,58	2,38	3,17	3,96	4,75
0,83	0,541	1,082	1,623	2,16	2,71	3,25	0,846	1,59	2,54	3,39	4,23	5,08
0,85	0,567	1,135	1,702	2,27	2,84	3,40	0,884	1,77	2,65	3,53	4,42	5,30
0,86	0,581	1,162	1,743	2,32	2,90	3,49	0,903	1,81	2,71	3,61	4,51	5,42
0,90	0,636	1,272	1,910	2,54	3,18	3,82	0,980	1,96	2,94	3,92	4,90	5,88
0,93	0,679	1,359	2,038	2,72	3,40	4,08	1,040	2,08	3,12	4,16	5,20	6,24
0,95	0,709	1,418	2,126	2,84	3,54	4,25	1,082	2,16	3,24	4,33	5,41	6,49
0,96	0,724	1,448	2,171	2,90	3,62	4,34	1,103	2,21	3,31	4,41	5,51	6,62

d	$S_{эф}$ при числе параллельных проводников						v при числе параллельных проводников					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1,00	0,785	1,571	2,356	3,14	3,93	4,71	1,210	2,42	3,63	4,84	6,05	7,26
1,04	0,849	1,699	2,548	3,40	4,25	5,10	1,323	2,65	3,97	5,29	6,61	7,94
1,06	0,882	1,765	2,647	3,53	4,41	5,29	1,346	2,69	4,04	5,38	6,73	8,07
1,08	0,916	1,832	2,748	3,66	4,58	5,50	1,392	2,78	4,18	5,57	6,96	8,35
1,12	0,985	1,970	2,956	3,94	4,93	5,91	1,488	2,98	4,47	5,95	7,44	8,93
1,16	1,057	2,114	3,170	4,23	5,28	6,34	1,613	3,23	4,84	6,45	8,06	9,68
1,18	1,094	2,187	3,28	4,37	5,47	6,56	1,638	3,28	4,92	6,55	8,19	9,83
1,20	1,131	2,262	3,39	4,52	5,65	6,79	1,716	3,43	5,15	6,86	8,58	10,30
1,25	1,227	2,454	3,68	4,91	6,14	7,36	1,823	3,65	5,47	7,29	9,11	10,94
1,30	1,327	2,655	3,98	5,31	6,64	7,96	1,988	3,98	5,96	7,95	9,94	11,93
1,32	1,368	2,737	4,11	5,47	6,84	8,21	2,016	4,03	6,05	8,07	10,08	12,10
1,35	1,431	2,863	4,29	5,73	7,16	8,59	2,132	4,26	6,39	8,53	10,66	12,79
1,40	1,539	3,079	4,62	6,16	7,70	9,24	2,280	4,56	6,84	9,12	11,40	13,68
1,45	1,651	3,303	4,95	6,61	8,26	9,91	2,434	4,87	7,30	9,73	12,17	14,60
1,50	1,767	3,534	5,30	7,07	8,84	10,60	2,592	5,18	7,78	10,37	12,96	15,55
1,56	1,911	3,823	5,73	7,65	9,56	11,47	2,789	5,58	8,37	11,16	13,94	16,73

1,60	2,011	4,021	6,03	8,04	10,05	12,06	2,924	5,85	8,77	11,70	14,62	17,54
1,62	2,061	4,122	6,18	8,24	10,31	12,37	2,993	5,99	8,98	11,97	14,96	17,96
1,68	2,217	4,433	6,65	8,87	11,08	13,30	3,204	6,41	9,61	12,82	16,02	19,22
1,70	2,270	4,540	6,81	9,08	11,35	13,62	3,276	6,55	9,83	13,10	16,38	19,66
1,74	2,378	4,756	7,13	9,51	11,89	14,27	3,423	6,85	10,27	13,69	17,11	20,54
1,80	2,545	5,089	7,63	10,18	12,72	15,27	3,686	7,37	11,06	14,75	18,43	22,12
1,81	2,573	5,146	7,72	10,29	12,87	15,44	3,725	7,45	11,17	14,90	18,62	22,35
1,88	2,776	5,552	8,33	11,10	13,88	16,66	4,000	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00
1,90	2,835	5,671	8,51	11,34	14,18	17,01	4,080	8,16	12,24	16,32	20,40	24,48
1,95	2,986	5,973	8,96	11,95	14,93	17,92	4,285	8,57	12,85	17,14	21,42	25,71
2,00	3,142	6,283	9,42	12,57	15,71	18,85	4,494	8,99	13,48	17,98	22,47	26,97
2,02	3,205	6,409	9,61	12,82	16,02	19,23	4,580	9,16	13,74	18,32	22,90	27,48
2,10	3,464	6,927	10,39	13,85	17,32	20,78	4,973	9,95	14,92	19,89	24,86	29,84
2,12	3,530	7,060	10,59	14,12	17,65	21,18	5,018	10,04	15,05	20,07	25,09	30,11
2,24	3,941	7,882	11,82	15,76	19,70	23,64	5,617	11,23	16,85	22,47	28,08	33,70
2,26	4,011	8,023	12,03	16,05	20,06	24,07	5,712	11,42	17,14	22,85	28,56	34,27
2,36	4,374	8,749	13,12	17,50	21,87	26,25	6,200	12,40	18,60	24,80	31,00	37,20
2,44	4,676	9,352	14,03	18,70	23,38	28,06	6,605	13,21	19,81	26,42	33,02	39,63
2,50	4,909	9,817	14,73	19,63	24,54	29,45	6,917	13,83	20,75	27,67	34,58	41,50

Примечание. v приведено для проводов марок ПЭВ-2, ПЭМ-2, ПЭТ-155, ПЭТВ-2.

Пример 1. Данные старой обмотки: $d=0{,}93$ мм; $n_{эл}=2$; $a=1$ (число параллельных ветвей). Подобрать по табл. 53 диаметры проводов, которыми можно заменить провод старой обмотки без изменения числа параллельных ветвей.

Находим по табл. 53 для старой обмотки: $S_{эф}=1{,}359$ мм^2 и $v=2{,}08$.

Находим варианты замены провода:

1. $d=1{,}30$ мм; $n_{эл}=1$; $S_{эф}=1{,}327$ мм^2; $v=1{,}988$.
2. $d=1{,}32$ мм; $n_{эл}=1$; $S_{эф}=1{,}368$ мм^2; $v=2{,}016$.
3. $d=1{,}35$ мм; $n_{эл}=1$; $S_{эф}=1{,}431$ мм^2; $v=2{,}132$.

Вариант 3 приводит к увеличению коэффициента заполнения паза на $[(2{,}132-2{,}08)/2{,}08]\cdot 100=2{,}5\ \%$.

4. $d=0{,}59$ мм; $n_{эл}=5$; $S_{эф}=1{,}37$ мм^2; $v=2{,}18$.

Этот вариант неудобен, так как требуется применять большое число параллельных проводов и, кроме того, существенно (примерно на 5 %) увеличивается коэффициент заполнения паза.

5. $d=0{,}64$ мм; $n_{эл}=4$; $S_{эф}=1{,}29$ мм^2; $v=2{,}07$.

В варианте 5 сечение эффективного проводника уменьшается на $[(1{,}359-1{,}29)/1{,}359]\cdot 100=5\ \%$, что может заметно отразиться на параметрах машины.

6. $d=0{,}74$ мм; $n_{эл}=3$; $S_{эф}=1{,}29$ мм^2; $v=2{,}07$.

Вариант 6 также приводит к уменьшению сечения на 5 %.

7. $d=0{,}75$ мм; $n_{эл}=3$; $S_{эф}=1{,}325$ мм^2; $v=2{,}12$. При этом варианте несколько увеличивается коэффициент заполнения паза на $[(2{,}12-2{,}08)/2{,}08]\cdot 100=2\ \%$.

Окончательный вариант выбирается в зависимости от наличия провода данного диаметра, возможности уменьшения толщины пазовой изоляции (при увеличении коэффициента заполнения), возможности укладки провода через шлиц паза и т. д.

Пример 2. Данные старой обмотки: $d=1{,}88$ мм; $n_{эл}=4$; $a=2$; $2p=4$; обмотка двухслойная с целым числом пазов на полюс и фазу. Подобрать по табл. 53 диаметры проводов, которыми можно заменить провод старой обмотки.

По табл. 53 находим для старой обмотки: $S_{эф}=11{,}1$ мм^2; $v=16{,}00$.

По табл. 53 находим возможные варианты замены:

1. $d=1{,}50$ мм; $n_{эл}=6$; $S_{эф}=10{,}6$ мм^2; $v=15{,}55$. Здесь уменьшается сечение на $[(11{,}1-10{,}6)/11{,}1]\cdot 100=4{,}5\ \%$.
2. $d=1{,}56$ мм; $n_{эл}=6$; $S_{эф}=11{,}47$ мм^2; $v=16{,}73$.

При варианте 2 увеличивается коэффициент заполнения паза на $[(16{,}73-16{,}00)/16{,}00]\cdot 100=4{,}55\ \%$.

3. $d=1{,}70$ мм; $n_{эл}=5$; $S_{эф}=11{,}35$ мм^2; $v=16{,}38$.

Здесь увеличивается коэффициент заполнения паза на $[(16{,}38-16{,}00)/16{,}00]\cdot 100=2{,}37\ \%$.

4. $d=1{,}90$ мм; $n_{эл}=4$; $S_{эф}=11{,}34$ мм^2; $v=16{,}32$.

В варианте 4 увеличивается коэффициент заполнения паза на $[(16{,}32-16{,}00)/16{,}00]\cdot 100=2\ \%$.

5. $d=2{,}12$ мм; $n_{эл}=3$; $S_{эф}=10{,}59$ мм^2; $v=15{,}05$.

В варианте 5 уменьшается сечение эффективного проводника на $[(11{,}1-10{,}59)/11{,}1]\cdot 100=4{,}6\ \%$.

6. Увеличивая число параллельных ветвей в два раза и уменьшая соответственно сечение эффективного проводника в два раза (число эффективных проводников в пазу при этом должно быть увеличено в два раза), определяем при $a=4$; $S_{эф}=5{,}55$ мм^2; $v=8$.

Находим:

1) $d=1{,}08$ мм; $n_{эл}=6$; $S_{эф}=5{,}50$ мм^2; $v=8{,}35$.

Здесь заполнение паза увеличивается на $[(8,35-8)/8]\cdot 100 = 4,4\ \%$.

2) $d=1,16$ мм; $n_{эл}=5$; $S_{эф}=5,28$ мм^2; $v=8,06$.

Здесь сечение уменьшается на $[(5,55-5,28)/5,55]\cdot 100=4,9\ \%$.

3) $d=1,18$ мм; $n_{эл}=5$; $S_{эф}=5,47$ мм^2; $v=8,19$.

Здесь заполнение паза увеличивается на $[(9,19-8)/8]\cdot 100 = 2,3\ \%$.

4) $d=1,30$ мм; $n_{эл}=4$; $S_{эф}=5,31$ мм^2; $v=7,95$.

Здесь сечение уменьшается на $[(5,55-5,31)/5,55]\cdot 100 = 4,34\ \%$ и т. д.

VI. ЯКОРНЫЕ ОБМОТКИ КОЛЛЕКТОРНЫХ МАШИН

32. Общие сведения

Якорные обмотки коллекторных машин характеризуются следующими данными: z — число пазов якоря; $2p$ — число полюсов; K — число коллекторных пластин; $u=K/z$ — число элементарных пазов в одном реальном пазу (число элементарных пазов якоря равно числу коллекторных пластин $u=K$); y_z — шаг обмотки по реальным пазам; $\overset{*}{y_1}$, $\overset{*}{y_2}$ — первый и второй частичные шаги; y^* — результирующий шаг; $y_к$ — шаг по коллектору; $2a$ — число параллельных ветвей; ε — наименьшее дробное число, которое надо вычесть или прибавить, чтобы частное от деления числа пазов или числа коллекторных пластин на число полюсов равнялось целому числу.

Формулы для расчета параметров основных типов обмоток приведены в табл. 54.

Шаг обмотки по реальным пазам, который надо знать для ее укладки, равен $y_z=y_1/u$. Если y_z — целое число, то обмотка является равносекционной, если y_z — дробное — ступенчатой. Ступенчатые обмотки более сложны в изготовлении, поэтому их применяют в необходимых случаях (например, для улучшения коммутации машины, сокращения числа штампов в серийном производстве и т. д.).

С целью получения равносекционной обмотки сначала определяют шаг по пазам $y_z=\dfrac{z}{2p}\mp\varepsilon$, а затем первый шаг $y=y_z u$.

Обмотка якоря должна быть симметричной, т. е. эдс и сопротивления всех ее параллельных ветвей должны быть равны. При невыполнении этого условия по обмотке якоря и щеткам будут протекать уравнительные токи, которые вызовут превышение температуры обмотки и ухудшение коммутации.

Простая петлевая обмотка получается симметричной при отношении z/p, равном целому числу (табл. 55, 56). Число u у нее может быть любым (1, 2, 3, 4, ...).

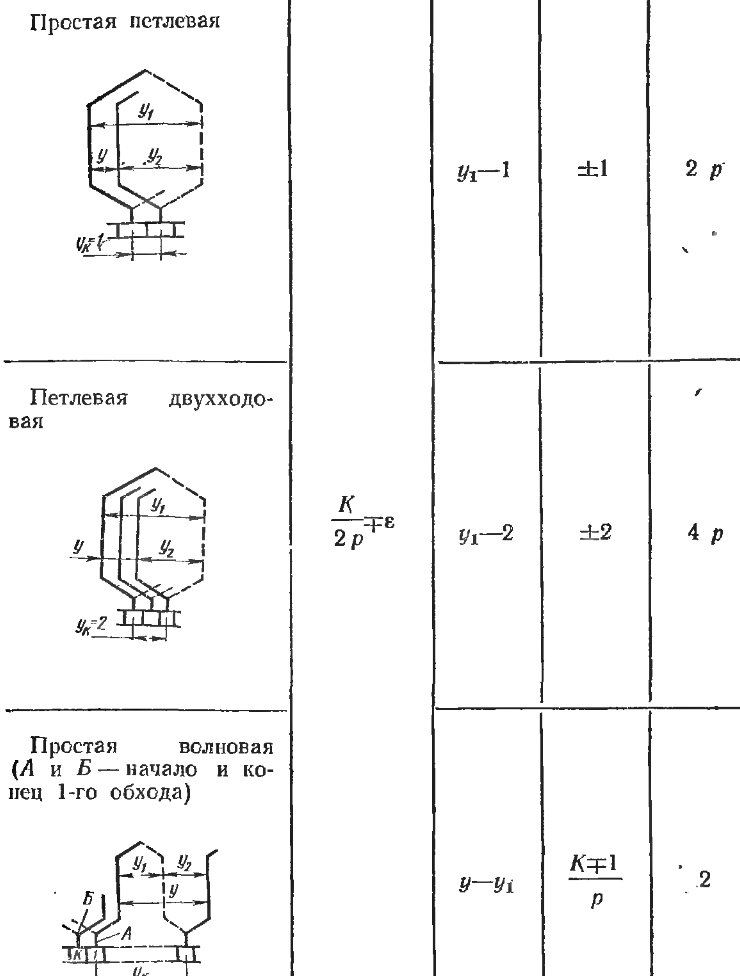
В простой волновой обмотке значения z и u зависят от числа пар полюсов. Например, если p равно четному числу, то z и y должны быть нечетными числами. При $2p=4$ простая волновая обмотка выполняется с числом $u=1$, 3, 5 и $z=2x\pm 1$, где x — любое целое число ($x=25$, 27, 29, 31 и т. д.). Большинство машин постоянного тока при $2p=4$ мощностью до 100—200 кВт выполняются с простой волновой обмоткой. В старых сериях машин с целью унификации штампов для листов сердечников применялись простые

---

* Выражаются в элементарных пазах.

волновые обмотки с «мертвой» секцией, в которых отступали от указанных выше значений z и u. В таких простых волновых обмотках число u может быть равно 2 или 4 (табл. 57).

Таблица 54. Формулы для расчета параметров основных типов якорных обмоток



Тип обмотки	y_1	y_2	$y = y_к$	$2a$
Простая петлевая		$y_1 - 1$	± 1	$2p$
Петлевая двухходовая	$\frac{K}{2p} \mp \varepsilon$	$y_1 - 2$	± 2	$4p$
Простая волновая (*А* и *Б* — начало и конец 1-го обхода)		$y - y_1$	$\frac{K \mp 1}{p}$	2

Тип обмотки	y_1	y_2	$y=y_к$	$2a$
Сложная волновая многоходовая (*А* и *Б* — начало и конец 1-го обхода)	$\frac{K}{2p} \mp \varepsilon$	$y - y_1$	$\frac{K \pm m}{p}$	$2m$
Лягушечья равносекционная разрезная (при $2p=4$)	$y_{2п} = y_{2в} = y_{1п} \mp m$; $y_п = y_{кп} \mp m$; $y_в = y_{кв} = \frac{K}{p} \mp m$; $y_{кп} + y_{кв} = \frac{K}{p}$			$4pm$

Таблица 55. Значения z, K, y_z некоторых машин постоянного тока (серии П, ПН и др.) и универсальных коллекторных микродвигателей с простой петлевой обмоткой при $2p=2$

z	K	y_z	z	K	y_z
7	7	3	12	24	5
9	27	4	13	39	6
10	10	4	14	28	6
10	20	4	14	42	6
11	22	5	14	56	7
11	33	5	18	36	8
12	12	5	18	72	9
			20	80	10

Таблица 56. Значения z, K, y_z, некоторых машин постоянного тока (серии П, ПН и др.) с простой петлевой обмоткой при $2p=4$

z	K	y_z	z	K	y_z
38	114	9	50	100	12
38	152	9	50	150	12
42	126	10	50	200	12
42	168	11	54	108	13
46	92	11	54	162	13
46	138	11	58	116	14
46	184	11	62	248	15

Например, при $z=27$ и $K=107$ обмотка выполняется с числом секций $27 \cdot 4=108$. Так как число коллекторных пластин на одну меньше числа секций, то одна секция — «мертвая» — остается не присоединенной к коллектору.

Таблица 57. Параметры некоторых простых волновых обмоток машин постоянного тока (серии П, ПН и др.) при $2p=4$

z	27	27*	27	42*	42*	49	49*	49	54*	63*	63
K	81	107	135	125	167	147	195	245	161	125	189
y_z	7	7	7	10	10	12	12	12	13	16	16
y_1	21	28	35	30	40	36	48	60	39	32	48
y_2	19	25	32	32	43	37	49	62	41	30	46
$y_к$	40	53	67	62	83	73	97	122	80	62	94

* Обмотка имеет одну «мертвую» секцию.

33. Неисправности обмоток якорей машин постоянного тока

Таблица 58

Неисправность	Схема	Обнаружение неисправности	
		методом падения напряжения	щупами с двойными иглами
Обрыв или плохой контакт в месте пайки к коллектору	1 2 3 4 5	На паре пластин *2, 3* прибор дает наибольшее показание	Между парой пластин *2, 3* ток близок к нулю
Отрыв от коллекторной пластины спаянных между собой конца и начала соседних секций	1 2 3 4 5	На парах пластин *2, 3* и *3, 4* — нулевое показание, на паре *2, 4* — удвоенное	Между пластинами *2, 3* и *3, 4* — обрыв; между пластинами *2, 4* ток в два раза меньший, чем между остальными пластинами
Простой крест	1 2 3 4 5	Неисправность обнаруживается путем проверки полярности секций магнитной стрелкой при пропускании через обмотку постоянного тока. Под дефектной секцией стрелка поворачивается на 180°	

Неисправность	Схема	Обнаружение неисправности	
		методом падения напряжения	щупами с двойными иглами
Присоединение секции своими началом и концом к одной коллекторной пластине (двойное перекрещивание)	1 2 3 4 5	На парах пластин *2*, *3* и *3*, *4* — нулевое показание, на паре *2*, *4* — нормальное	Между пластинами *2*, *3* и *3*, *4* — обрыв; между пластинами *2*, *4* — ток такой же, как и между остальными пластинами
Тройное перекрещивание (перепутаны концы трех секций *А*, *Б* и *В*) — две петли, вкладываемые в прорези коллекторных пластин, поменялись местами	А Б В 1 2 3 4 5	На пластинах *2*, *3* стрелка прибора отклоняется в противоположную сторону, на пластинах *1*, *2* и *3*, *4* — удвоенное показание	Между пластинами *1*, *2* и *3*, *4* — в два раза меньший ток, между пластинами *2*, *3* — нормальный ток
Тройное перекрещивание (перепутаны концы трех секций *А*, *Б* и *В*)—конец секции *А* скручен в петлю с началом секции *В* и оба вывода присоединены к пластине *3*; начало секции *Б* скручено с концом секции *В* и оба вывода присоединены к пластине *2*, конец секции *Б* присоединен к пластине *4* вместо пластины *3*	А Б В 1 2 3 4 5	На пластинах *1*, *2* и *3*, *4* — удвоенное показание, на пластинах *2*, *3* — стрелка прибора отклоняется в противоположную сторону	

Замыкание между двумя секциями, лежащими в разных слоях обмотки		Большое число нулевых показаний прибора	
Некачественная пайка, увеличенное или уменьшенное число витков в секции	—	Повышенное показание прибора на некоторых парах пластин	Уменьшенный ток на некоторых парах пластин
Замыкание обмотки на корпус (схема приведена для волновой обмотки)		При переходе через пластины, к которым присоединена замкнутая секция, стрелка прибора отклоняется в противоположную сторону *	—

* В волновой обмотке щупы милливольтметра присоединяют к двум пластинам, расположенным на расстоянии коллекторного шага. Если коллекторный шаг неизвестен, то его определяют по наименьшему напряжению между двумя коллекторными пластинами, расположенными на расстоянии двойного полюсного деления друг от друга.

Примечания: 1. При контроле методом падения напряжения по обмотке пропускают постоянный ток, присоединяя провода от источника к двум пластинам, отстоящим друг от друга примерно на величину полюсного деления, и двумя щупами, к которым подключен милливольтметр, измеряют напряжение между каждой парой соседних пластин. 2. Специальными щупами с двойными иглами измеряют сопротивление обмотки якоря, прижимая их к двум пластинам коллектора, удаленным на полюсное деление. У щупов с двойными иглами к одной паре игл присоединен источник постоянного тока, к другой — амперметр и вольтметр; при прикосновении щупов к пластинам по обмотке протекает постоянный ток, который можно определить по амперметру, а падение напряжения — по вольтметру. Для нахождения дефектов щупы поочередно присоединяются к паре соседних пластин.

34. Расчет обмотки якоря машины постоянного тока мощностью 1—10 кВт* общего назначения

Среднее значение напряжения между коллекторными пластинами: $U_{к.ср}=2pU/K$, где $2p$ — число полюсов; U — номинальное напряжение машины, В; K — число коллекторных пластин. Допускаемые максимальные значения $U_{к.ср}<16$ В. При бо́льших значениях появляется повышенное искрение на коллекторе.

Линейную нагрузку A** и магнитную индукцию в воздушном зазоре $B\delta$ якоря выбирают в зависимости от его наружного диаметра $D_я$ (табл. 59).

Таблица 59. Нагрузка и магнитная индукция в воздушном зазоре якоря

$D_я$, см	A, А/см	B_δ, Тл
8	100	0,45
10	130	0,52
12	150	0,56
15	180	0,63
20	240	0,70

Номинальная мощность (кВт): $P=D_я^2 l_я n A B_\delta \cdot 10^{-8}$, где $l_я$ — длина сердечника якоря, см; n — частота вращения якоря, об/мин.

Номинальный ток якоря (А) генератора $I_я=\frac{P}{U}\cdot 10^3$,

двигателя $I_я=1,15\frac{P}{U}\cdot 10^3$.

Число эффективных проводников обмотки (предварительно):

$$N_я=\frac{3,14\ D_я A}{I_я}\cdot 2a.$$

Число витков в секции якоря $w_с\approx N_я/(2K)$.

У двигателей с полузакрытыми пазами и всыпной обмоткой число $w_с$ может быть целым или дробным, так как в такой обмотке допускают разные числа витков в секциях, расположенных рядом в одном пазу. Например, при трех секциях в пазу ($u=3$) и числе витков в секциях 3—4—3 среднее значение $w_с=3,33$.

Уточненное число эффективных проводников обмотки: $N_я=$ $=2w_сK$.

Число эффективных проводов в пазу: $N_п=2w_сK/z$, где z — число пазов.

---

* Обмоточные данные машин мощностью выше 10 кВт при ремонте определяют по старой обмотке, которая выполняется из провода прямоугольного сечения.

** Линейная нагрузка — это отношение тока всех проводников в пазах к длине окружности якоря: $A=\frac{I_я\ N_я}{2a\cdot 3,14\ D_я}$, где $I_я$ — ток якоря; $N_я$ — число эффективных проводов обмотки якоря; $2a$ — число параллельных ветвей.

Расчет шагов обмотки по пазам и коллектору см. на с. 120.

Площадь поперечного сечения паза (рис. 91), мм²: $F = 1{,}57(r_1^2 + r_2^2) + (r_1 + r_2)h$.

Периметр паза (мм): $\Pi = 6{,}28r_1 + 3{,}14r_2 + 2h$.

Площадь поперечного сечения пазовой коробки, мм²: $F_{кор} = b_{из}\Pi$, где $b_{из}$ — толщина пазовой коробки, мм. В современных машинах $b_{из} = 0{,}35$ мм при $D_я$ до 125 мм и $b_{из} = 0{,}5$ мм при $D_я$ больше 125 мм.

Площадь сечения пазового клина и изоляционной прокладки между слоями, мм²: $F_{кл} \approx (3 \div 5)r_1$. Меньшие значения площади принимают при креплении обмотки пазовой крышкой вместо клина.

Площадь поперечного сечения паза, заполненного обмоткой, мм²: $F_о = F - F_{кор} - F_{кл}$.

Диаметр изолированного провода, мм: $D = 0{,}86\sqrt{F_о/(N_п n_{эл})}$, где $n_{эл}$ — число элементарных (параллельных) проводников.

Рис. 91. Полузакрытый паз якоря с изоляцией

Диаметр d (мм) провода без изоляции выбирают по табл. 13 в зависимости от марки. Проводом большого диаметра выполнять обмотку трудно. Для всыпных обмоток якорей машин постоянного тока применяют провода $d < 1{,}7 \div 1{,}9$ мм. Если по расчету диаметр получается больше, следует эффективный проводник разделить на два или несколько элементарных (параллельных) проводников.

Коэффициент заполнения паза изолированными проводниками: $k_з = N_п n_{эл} D_1^2 / F_о$, где D_1 — диаметр изолированного провода после выбора провода, мм. $k_з$ должен быть не более 0,75, чтобы обеспечить нормальную укладку обмотки в паз.

Средняя длина проводника (полувитка) обмотки якоря, см: при $2p = 2$ $l_{пв} = l_я + 1{,}4D_я$, при $2p = 4$ $l_{пв} = l_я + D_я$.

Общая длина провода на обмотку (см) $L = N_я l_{пв} n_{эл}$.

Сопротивление обмотки якоря при 20 °С, Ом: $r_я = L/[5700 S_{эл} \times (2an_{эл})^2]$, где $S_{эл}$ — сечение элементарного проводника обмотки, мм².

Масса (кг) меди провода обмотки $M = 8{,}9LS_{эл}10^{-5}$.

Пример. Рассчитать обмотку якоря электродвигателя постоянного тока. Исходные данные: $D_я = 16{,}2$ см; $l_я = 10$ см; $U = 220$ В; $n = 1500$ об/мин; $2p = 4$; $z = 31$; $K = 93$; $r_2 = 2$ мм; $r_1 = 4{,}5$ мм; $h = 20{,}5$ мм; класс изоляции А.

Среднее значение напряжения между коллекторными пластинами $U_{к.ср} = 4 \cdot 220/93 = 9{,}5 В < 16$ В.

Линейная нагрузка $A = 195$ А/см.

Магнитная индукция в воздушном зазоре $B_\delta = 0{,}65$ Тл.

Номинальная мощность $P = 16{,}2^2 \cdot 10 \cdot 1500 \cdot 195 \cdot 0{,}65 \cdot 10^{-8} = 5$ кВт.

Номинальный ток $I_я = 1{,}15 \dfrac{5}{220} \cdot 10^3 = 26{,}1$ А.

Число эффективных проводников обмотки

$$N_я = \frac{3{,}14 \cdot 16{,}2 \cdot 195}{26{,}1} \cdot 2 = 760.$$

Выбираем простую волновую обмотку с числом параллельных ветвей $2a=2$, так как симметричная петлевая обмотка при $2p=4$ и $z=31$ невыполнима.

Число витков в секции якоря $w_с=760/(2\cdot 93)\approx 4$.

Уточненное число проводников обмотки якоря $N_я=4\cdot 2\cdot 93=744$.

Число эффективных проводников в пазу $N_п=2\cdot 4\cdot 93/31=24$.

Шаги обмотки: $y_z=\frac{z}{2p}\mp\varepsilon=\frac{31}{4}+\frac{1}{4}=8$;

$y_1=y_z u=8\cdot 93/31=24$; $y=(K\mp 1)/p=(93-1)/2=46$; $y_2=y-y_1=46-24=22$.

Площадь поперечного сечения паза $F=1{,}57(2^2+4{,}5^2)+(2+4{,}5)\cdot 20{,}5=171$ мм^2.

Периметр паза $\Pi=6{,}28\cdot 4{,}5+3{,}14\cdot 2+2\cdot 20{,}5=75{,}6$ мм.

Площадь поперечного сечения пазовой коробки $F_{кор}=0{,}5\times 75{,}6=37{,}8$ мм^2.

Площадь сечения пазового клина и изоляционной прокладки между слоями $F_{кл}=(3\div 5)\cdot 4{,}5\approx 20$ мм^2.

Площадь поперечного сечения паза, заполненного обмоткой: $F_0=171-37{,}8-20\approx 113$ мм^2.

Диаметр изолированного провода при $n_{эл}=1$ $D=0{,}86\times\sqrt{113/(24\cdot 1)}=1{,}87$ мм.

Для уменьшения жесткости обмотки целесообразно увеличить число параллельных проводников. При $n_{эл}=2$ получим $D=0{,}86\times\sqrt{113/(24\cdot 2)}=1{,}32$ мм.

Марка провода ПЭВ-2, диаметр по меди $d=1{,}2$ мм, $D=1{,}31$ мм, сечение жилы $S_{эл}=1{,}13$ мм^2.

Коэффициент заполнения паза изолированными проводниками $k_з=24\cdot 2\cdot 1{,}31^2/113=0{,}73<0{,}75$.

Средняя длина проводника (полувитка) обмотки якоря $l_{пв}=10+16{,}2=26{,}2$ см.

Общая длина провода на обмотку $L=744\cdot 26{,}2\cdot 2=38\,900$ см.

Сопротивление обмотки якоря при 20 °C $r_я=38\,900/[5700\times 1{,}13(2\cdot 2)^2]=0{,}378$ Ом.

Масса меди провода обмотки $M=8{,}9\cdot 38\,900\cdot 1{,}13\cdot 10^{-5}=3{,}91$ кг.

35. Расчет обмоток микродвигателя постоянного тока*

Условный объем сердечника якоря, см^3: $V_я=D_я^2\, l_я$, где $D_я$ — диаметр якоря, см; $l_я$ — длина сердечника якоря, см.

Мощность электродвигателя P_2 (Вт) определяем по рис. 92. Данные на рис. 92 приведены для электродвигателей длительного режима работы с интенсивным охлаждением. При естественном охлаждении (отсутствует вентилятор) полученное значение мощности следует умножить на $(0{,}7\div 0{,}5)$.

Индукцию в воздушном зазоре B_δ (Тл) определяют по табл. 60 в зависимости от отношения мощности P_2 (Вт) к частоте вращения n (об/мин).

---

* Для двигателей длительного (свыше 5 мин) режима работы.

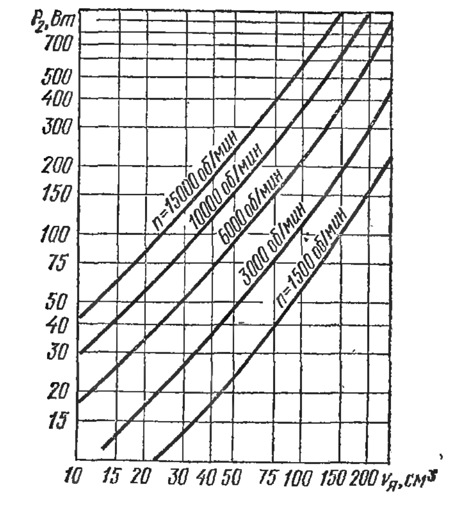


Рис. 92. Зависимость мощности двигателя постоянного тока от условного объема сердечника якоря

Таблица 60. Значение индукции в воздушном зазоре

$P_2/n \cdot 10^{-3}$, Вт/об/мин	B_δ, Тл	$P_2/n \cdot 10^{-3}$, Вт/об/мин	B_δ, Тл
4	0,3	60	0,40
10	0,33	120	0,45
30	0,36	200	0,48

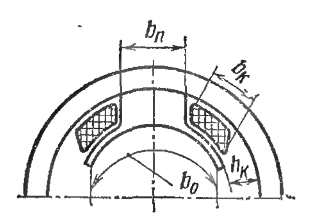


Рис. 93. Размеры полюса и обмотки возбуждения

Магнитный поток в воздушном зазоре, Вб: $\Phi_\delta = B_\delta \ b_0 l_я \cdot 10^{-4}$, где b_0 — длина полюсной дуги, см (рис. 93); b_0 измеряется по внутренней поверхности полюсного наконечника с помощью гибкой линейки или полоски бумаги.

Эдс якоря электродвигателя, В: $E=0{,}33(1+2\eta)U$ — при последовательном возбуждении, $E=0{,}39(1+2\eta)U$ — при параллельном возбуждении, где η — кпд (по табл. 61), U — напряжение (В).

Таблица 61. Значение кпд η

P_2, Вт	η	P_2, Вт	η
10	0,37	200	0,63
20	0,45	400	0,70
40	0,51	1000	0,76
100	0,59		

Число проводников обмотки якоря: $N_я=60aE/(pn\Phi_б)$, где $a=1$ — число параллельных ветвей; p — число пар полюсов.

Число витков в секции якоря, число эффективных проводников в пазу, шаги обмотки, площадь поперечного сечения паза, заполненного обмоткой, диаметр провода, коэффициент заполнения паза определены на с. 126, 127.

Средняя длина проводника (полувитка) обмотки якоря, см: при $2p=2$ $l_{пв}\approx l_я+1{,}2D_я$; при $2p=4$ $l_{пв}\approx l_я+0{,}8D_я$.

Формулы для определения общей длины провода на обмотку, сопротивления обмотки якоря и массы меди провода обмотки приведены на с. 127.

Число витков на полюс при параллельном возбуждении (последовательное соединение полюсных катушек) $w_в\approx 2300U/(pj_в l_в)$, где $j_в=4\div 8$ А/мм^2 — плотность тока в обмотке возбуждения (бóльшие значения для машин меньшей мощности и с большей частотой вращения); $l_в$ — средняя длина витка полюсной катушки, см (предварительно определяем по старой катушке).

Сечение провода параллельной обмотки возбуждения, мм^2: $S_в=(0{,}2\div 0{,}4)S_я$, где $S_я$ — сечение провода обмотки якоря (число параллельных проводников $n_{эл}=1$). Бóльшие значения числового коэффициента в скобках брать для электродвигателей меньшей мощности.

Число витков на полюс при последовательном возбуждении: $w_в^1=(0{,}125\div 0{,}5)N_п/(2p)$. Меньшие значения числового коэффициента в скобках принимаем для машин большей мощности.

Сечение провода последовательной обмотки возбуждения, мм^2: $S'_в\approx 2S_я$.

Проверка размещения обмотки возбуждения на полюсе:

число витков по высоте катушки: $m=(h_к-0{,}8)/D_в$, где $h_к$ — высота катушки, мм, по рис. 93; $D_в$ — диаметр изолированного провода обмотки возбуждения, мм;

число слоев в катушке $m'=w_в/m$;

толщина катушки $b_к=D_в m'$, мм.

Средняя длина витка полюсной катушки (см) при отъемных полюсах $l_{ср}=2(b_п+l_п+2b_к)$, где $b_п$ — ширина полюса (рис. 93), см; $l_п$ — длина полюса, см; при неотъемных полюсах $l_{ср}=b_о+b_п+2l_п+2b_к$, где b_0 — ширина полюсного наконечника по дуге, см.

Сопротивление обмотки возбуждения в нагретом (до 75 °С) состоянии, Ом: $r_в=pw_в l_{ср}/(2300S_в)$.

Ток в параллельной обмотке возбуждения, А: $I_ш=U/r_в$.

Ток якоря электродвигателя ($n_{эл}=1$), А: $I_я=2S_я j$, где $j=4\div8$ А/мм^2 — плотность тока в обмотке якоря (бо́льшие значения для машин меньшей мощности и с большей частотой вращения).

Отношение тока возбуждения в параллельной обмотке к току якоря: $k_в=I_ш/I_я$. Указанное отношение находится обычно в пределах $k_в=0,1\div0,2$ (бо́льшие значения для машин меньшей мощности).

Пример. Рассчитать обмотки якоря и возбуждения электродвигателя постоянного тока при следующих данных:

$D_я=3,6$ см; $l_я=l_п=3,6$ см; $b_о=3,6$ см; $U=110$ В; $n=4000$ об/мин; $2p=2$; $z=13$; $K=26$; $r_1=2,6$ мм; $r_2=1,1$ мм; $h=5,5$ мм; $l_в=14$ см; $b_п=13$ мм; $h_к=8$ мм; охлаждение — естественное, возбуждение — последовательное, режим работы — продолжительный.

Условный объем сердечника якоря $V_я=3,6^2\cdot3,6=46,6$ см^3.

Мощность электродвигателя $P\approx0,6\cdot55=33$ Вт.

Индукция в воздушном зазоре $P/n=33/4000=8,3\times10^{-3}\dfrac{\text{Вт}}{\text{об/мин}}$, $B_\delta=0,32$ Тл (по табл. 60).

Магнитный поток в воздушном зазоре $\Phi_\delta=0,32\cdot3,6\cdot3,6\cdot10^{-4}=4,15\cdot10^{-4}$ Вб.

Эдс якоря электродвигателя: $E=0,33(1+2\cdot0,5)\cdot110=73$ В.

Число проводников обмотки якоря $N_я=60\cdot1\cdot73/(1\cdot4000\times4,15\cdot10^{-4})=2640$.

Число витков в секции якоря $w_с\approx2640/(2\cdot26)\approx51$.

Уточненное число проводников обмотки якоря $N_я=51\cdot2\cdot26=2650$.

Число эффективных проводников в пазу $N_п=2\cdot51\cdot26/13=204$.

При $2p=2$ двигатели постоянного тока выполняются с простой петлевой обмоткой на якоре. Шаги обмотки: $y=y_к=1$; $y_z=\dfrac{z}{2p}-\varepsilon=\dfrac{13}{2}-\dfrac{1}{2}=6$; $y_1=y_z u=6\cdot{}^{26}/_{13}=12$; $y_2=y_1-1=12-1=11$.

Площадь поперечного сечения паза $F=1,57(2,6^2+1,1^2)+(2,6+1,1)\cdot5,5=32,8$ мм^2.

Периметр паза $П=2\cdot3,14\cdot2,6+3,14\cdot1,1+2\cdot5,5=30,8$ мм.

Площадь поперечного сечения пазовой коробки $F_{кор}=0,25\times30,8=7,7$ мм^2, где $b_{из}=0,25$ мм (один слой лакоткани ЛШС толщиной 0,1 мм и один слой электрокартона толщиной 0,15 мм).

Площадь сечения пазового клина и изоляционной прокладки между слоями $F_{кл}\approx3\cdot2,6=7,8$ мм^2.

Площадь поперечного сечения паза, заполненного обмоткой, $F_о=32,8-7,7-7,8=17,3$ мм^2.

Диаметр изолированного провода $D=0,86\sqrt{17,3/(204\cdot1)}=0,245$ мм.

Диаметр провода без изоляции (марка ПЭВ-2) $d=0,20$ мм; $D_1=0,24$ мм (по табл. 13).

Сечение провода $S_я=0,0314$ мм^2 (по табл. 11).

Коэффициент заполнения проводниками свободной площади паза $k_з=204\cdot0,24^2/17,3=0,68<0,75$.

Средняя длина проводника $l_{пв}=3,6+1,2\cdot3,6=7,9$ см.

Общая длина провода на обмотку $L=2650\cdot7,9\cdot1=20\,900$ см.

Сопротивление обмотки якоря при 20 °С $r_я=20\,900/[5700\times0,0314(2\cdot1)^2]=29,2$ Ом.

Масса меди провода обмотки якоря $M=8,9\cdot20\,900\cdot0,0314\times10^{-5}=0,058$ кг.

Число витков обмотки возбуждения иа полюс $w'_в=0,3\cdot 2650/2\approx\approx 400$.

Сечение провода обмотки возбуждения $S'_в=2\cdot 0,0314=0,063$ мм².

Диаметр провода без изоляции обмотки возбуждения $d_в=0,28$ мм (по табл. 13); сечение провода $S_в=0,0616$ мм².

Диаметр провода с изоляцией обмотки возбуждения (марка ПЭВ-2) $D_в=0,33$ мм (табл. 13).

Проверка размещения обмоткн возбуждения на полюсе $m=(8-0,8)/0,33\approx 22$; $m'=400/22\approx 18$; $b_к=0,33\cdot 18=6,0$ мм.

Средняя длина витка полюсной катушкн (дли отъемных полюсов) $l_в=2(1,3+3,6+2\cdot 0,6)\approx 12$ см.

Ток якоря электродвигателя $I_я=2\cdot 0,0314\cdot 7\approx 0,44$ А.

36. Расчет обмоток коллекторного микродвигателя для работы от сети переменного тока*

Данные для определения условного объема сердечника якоря, мощности электродвигателя, индукции в воздушном зазоре и магиитного потока былн приведены на с. 128.

Мощность для двигателей переменного тока $P_{пер}=(0,5\div\div 0,7)P$, где P — мощность двнгателя постоянного тока. Большие значения коэффициента в скобках указаны для электродвигателей большей мощности.

Эдс якоря электродвигателя $E=\frac{2+\eta}{4}U$, где U — номинальное напряжение, В; η — кпд (по табл. 62).

Таблица 62. Кпд универсальных коллекторных двигателей при работе от сети перемеииого тока

$P_{пер}$, Вт	η	$P_{пер}$, Вт	η
10	0,35	100	0,55
20	0,43	400	0,63
40	0,5	1000	0,7

Чнсло эффектнвных проводников обмоткн якоря $N_я=85aE/(pn\Phi_\delta)$, где $a=1$ — число параллельных ветвей; p — число пар полюсов.

Число витков в секции якоря, число эффективных проводников в пазу, шаги обмотки, площадь трапецендального паза без нзоляции, диаметр провода, коэффнциент заполнеиия паза, средняя длина проводника, общая длина провода на обмотку, сопротнвленне обмотки якоря и масса меди провода обмотки якоря указаны на с. 127.

Чнсло витков последовательной обмотки возбуждения иа полюс $w_в=(N_я/2a)\times K_т$, где $K_т$ — коэффицнент трансформации. При $2p=2$ $K_т=0,10-0,25$; при $2p=4$ $K_т=0,05-0,10$.

Сеченне провода обмотки возбуждения: $S_в=2S_я$.

Формулы для определения диаметра провода, средней длины витка (полюса у коллекторных электродвигателей неотъемные) и проверка размещения обмотки возбужденпя даны в § 35.

* Для продолжительного режима работы.

Пример. Рассчитать обмотки якоря и возбуждения коллекторного микродвигателя переменного тока при следующих данных: $D_я=5$ см; $l_я=l_п=4$ см; $b_о=5,8$ см; $U=110$ В; $n=3000$ об/мин; $2p=2$; $z=13$; $K=39$; $r_1=3,1$ мм; $r_2=1,8$ мм; $h=8,2$ мм; $b_п=27$ мм; $h_к=9,5$ мм; охлаждение — естественное.

Условный объем сердечника якоря: $V_я=5^2\cdot 4=100$ см^3.

Мощность для двигателя постоянного тока (по рис. 92): $P\approx$ $\approx 0,6\times 115=69$ Вт.

Мощность для двигателя переменного тока: $P_{пер}\approx 0,6\cdot 69=$ $=41$ Вт.

Эдс якоря: $E=[(2+0,5)/4]\times 110=69$ В, где $\eta=0,5$ — по табл. 62.

Магнитный поток в воздушном зазоре $\Phi_\delta=0,34\cdot 5,8\cdot 4,0\times$ $\times 10^{-4}=7,9\cdot 10^{-4}$ Вб, где $B_\delta=0,34$ Тл при отношении $P/n=$ $=41/3000=13,7\cdot 10^{-3}$ Вт/об/мин (по табл. 60).

Число эффективных проводников обмотки якоря $N_я=85\cdot 1\times$ $\times 69/(1\cdot 3000\cdot 7,9\cdot 10^{-4})=2470$.

Число витков в секции якоря $w_с=2470/(2\cdot 39)=32$.

Число эффективных проводников в пазу $N_п=2\cdot 32\cdot 39/13=192$.

Число эффективных проводников обмотки якоря (уточненное) $N'_я=192\cdot 13=2496$.

Шаги простой петлевой обмотки по пазам и коллектору: $y_z=$ $=(z/2p)-\varepsilon=13/2-1/2=6$; $y_1=y_z u=6\cdot 39/13=18$; $y_2=y_1-1=$ $=18-1=17$.

Площадь поперечного сечения паза $F=1,57(3,1^2+1,8^2)+(3,1+$ $+1,8)\cdot 8,2=60,4$ мм^2.

Периметр паза: $П=6,28\cdot 3,1+3,14\cdot 1,8+2\cdot 8,2=41,6$ мм.

Площадь поперечного сечения пазовой коробки: $F_{кор}=0,25\times$ $\times 41,6=10,4$ мм, где $b_{из}=0,25$ мм.

Площадь сечения пазового клина и изоляционной прокладки между слоями: $F_{кл}\approx 4\cdot 3,1=12,4$ мм^2.

Площадь поперечного сечения паза, заполненного обмоткой: $F_о=60,4-10,4-12,4=37,6$ мм^2.

Диаметр изолированного провода $D=0,86\sqrt{37,6/(192\cdot 1)}=$ $=0,38$ мм, где $n_{эл}=1$ — число элементарных проводников.

Выбираем провод ПЭВ-2; $d=0,315$ мм; $D=0,365$ мм (по табл. 13); $S_я=0,0779$ мм^2 (по табл. 11).

Коэффициент заполнения паза изолированными проводниками не проверяем, так как выбран провод меньшего диаметра, чем полученный по расчету.

Средняя длина проводника (полувитка) обмотки якоря $l_{пв}=$ $=4+1,2\cdot 5=10$ см.

Общая длина провода на обмотку $L=2496\cdot 10\cdot 1=24\,960$ см.

Сопротивление обмотки якоря при 20 °С $r_я=24\,960/[5700\times$ $\times 0,0779(2\cdot 1)^2]=14,1$ Ом.

Масса меди провода обмотки якоря $M=8,9\cdot 24\,960\cdot 0,0779\times$ $\times 10^{-5}=0,173$ кг.

Число витков последовательной обмотки возбуждения на полюс $w_в=(2496/2)\cdot 0,15=187$.

Сечение провода обмотки возбуждения $S_в=2\cdot 0,0779=$ $=0,156$ мм^2, $d_в=0,45$ мм; $D_в=0,51$ мм; $S_в=0,159$ (по табл. 11, 13 для марки провода ПЭВ-2).

Проверка размещения обмотки возбуждения на полюсе: $m=$ $=(9,5-0,8)/0,51=17$; $m'=187/17=11$; $b_к=0,51\cdot 17=8,7$ мм.

Средняя длина витка полюсной катушки (для неотъемных полюсов) $l_в = 5,8 + 2,7 + 2 \cdot 4 + 2 \cdot 0,87 = 18,2$ см.

Ток якоря электродвигателя: $I_я = 2 \cdot 0,0779 \cdot 7 = 1,09$ А.

VII. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ОБМОТОЧНО-ИЗОЛИРОВОЧНЫХ И ПРОПИТОЧНЫХ РАБОТ

В массовом и серийном производстве основные процессы изготовления всыпных обмоток из круглой проволоки, которые вставляются в полузакрытый паз статора, механизированы. Эти обмотки используются в электрических машинах небольшой мощности (до 60 кВт), выпуск которых исчисляется несколькими десятками миллионов штук в год. Типовая технология включает следующие виды обмоточно-изолировочных работ: изолирование пазов (изготовление и установка в сердечник пазовых коробов); намотка (образование витков катушек и укладка их в пазы); заклинивание обмотки в пазах; осадка и формование обмотки; соединение схемы; бандажирование лобовых частей; формование лобовых частей (калибрование) перед пропиткой; контроль обмоток; вспомогательно-заготовительные операции.

Намотка обмотки — наиболее трудоемкая из этих видов работ — выполняется двумя способами. Первый способ — совмещенная намотка — образование витков и укладка их в пазы производится одновременно на одной позиции станка. Второй способ — раздельная намотка — сначала наматываются на шаблон катушки, затем осуществляется их укладка (втягивание) в пазы.

Способ раздельной намотки, как более производительный, получил широкое распространение. Совмещенная намотка в основном используется при изготовлении якорей, а также статоров с явно выраженными полюсами. При выпуске большого количества однотипных машин (200—300 тыс. шт/год) используют агрегатные станки, на которых производится ряд операций, например намотка, укладка обмотки и формование лобовых частей. Производительность автоматизированных агрегатных станков, объединенных в единую линию, в два раза выше, чем отдельных станков.

Ниже приведены некоторые модели станков и другого оборудования для выполнения характерных видов обмоточно-изоляционных и сушильно-пропиточных работ.

37. Станки ИС1А, ИС23А, ИС45А, ИС345В для изолирования пазов статоров

Группа пазоизолировочных станков ИС1А, ИС23А и ИС45А (табл. 63) охватывает весь диапазон размеров статоров со всыпными обмотками. Станок ИС345В предназначен для изготовления коробов.

Подающее устройство всех этих станков при включении протягивает ленту изоляционного материала через манжетообразующие фильеры и подает ее в зону штампоформующего устройства, которое отрезает заготовку необходимой ширины и формует ее. В станках для изолирования пазов статоров досылатель затем устанавливает пазовый короб в статор, закрепленный на периодически поворачивающейся головке. После окончания цикла изолирования станок автоматически останавливается.

Таблица 63. Пазоизолировочные станки

Наименование	Тип станка			
	ИС1А	ИС23А	ИС45А	ИС345В
Диаметр отверстия сердечника, мм	30—60	45—160	132—315	160—350
Скорость изолирования, паз/мин	120—140	100—140	60—100	60—100*
Число пазов сердечника	8; 12; 16; 18; 24	24; 36; 48; 54	24; 36; 48; 54; 72	Любое
Толщина изоляционного материала, мм **	0,1—0,25	0,15—0,4	0,35—0,5	0,35—0,5
Длина развертки пазового короба, мм	20—70	55—200	130—305	150—305
Ширина развертки пазового короба, мм	10—30	15—60	30—85	40—90
Ширина манжеты, мм	3—5	3—5	5—7	5—7
Габаритные размеры (в плане), мм	500×650	1150×950	1250×1100	1010×810
Установленная мощность, кВт	1,1	1,1	2,5	1,1
Масса, кг	750	1050	1575	730

* Производительность, коробы/мин.
** Число слоев — один.

38. Станки ОС2А и ОСп1Б для совмещенной намотки статоров

Станок ОС2А (табл. 64) работает в комплекте с заклиновочными станками типа ЗС.

Станок состоит из станины, механизма главных движений и переключения шага, автооператора, пневмосистемы, электрооборудования. Оснастка содержит блок автооператора, статорную головку, формообразующие детали, механизмы отрезки, разматывающее устройство.

Статор с предварительно закрепленными на нем шаблонами устанавливают в гнездо статорной головки. При нажатии кнопки «Пуск» автооператор станка опускается и фиксирует его. Затем включается двигатель, который передает движение штоку проводоводителя с намоточной головкой. Намоточная головка движется вдоль оси статора, заходя иглами в пазы, и качается на шаг обмотки в лобовой части статора. Траектория движения намоточной головки складывается из движений механизмов продольного хода и поворотных движений. Число игл соответствует количеству одновременно наматываемых катушек. Лобовые части обмотки образуются с помощью крючьев и формообразующих шаблонов, которые отводят провод к дну паза и удерживают его до окончания намотки.

За полвитка до окончания намотки включается механизм фиксации, останавливающий механизм продольных движений. В момент остановки происходит переключение шага намотки и начинается укладка следующей катушки. Так продолжается до образования полной катушечной группы.

По окончании намотки нажатием кнопки «Отрезка» приводится в действие механизм отрезки провода, автооператор поднимается, готовый статор с шаблонами снимается.

Станок ОСп1Б (табл. 64) предназначен для укладки провода одновременно в пазы двух статоров с явновыраженными полюсами, состоит из механизма главных движений, тумбы, корпуса, поворотного стола с приводом, пневмосистемы и имеет две загрузочные и две рабочие позиции. В процессе работы каждая намоточная головка совершает движение вдоль оси статора, заходя иглами в пазы и укладывая провод на их дно, а также поворот на угол, соответствующий шагу обмотки, для оформления лобовой части. Провод в лобовой части при намотке удерживается формообразующими элементами оснастки (шаблонами и крючьями или одними крючьями). Траектория намоточной головки складывается из движений механизма продольного хода и механизма качания. После намотки катушек специальный механизм отрезает провода, идущие к статорам.

39. Намоточные станки НвС2А, НвС3А, НвС4А

Станки (табл. 64) предназначены для намотки на шаблоны катушечных групп всыпной обмотки с последующим съемом их на переносное приспособление (съемник) и передачей на всыпной станок для втягивания в пазы статора.

В намоточных станках НвС2А и НвС3А производится намотка катушек на неподвижный шаблон с помощью мотовила, вращающегося вокруг шаблона и перемещающегося вдоль оси намотки.

Намотка может производиться одним или двумя проводами, которые укладываются на шаблон в один ряд. Количество ступеней на намоточном шаблоне определяется числом катушек в катушечной группе. Намоточные шаблоны закреплены на поворотной головке. После намотки одной катушечной группы головка с шаблонами поворачивается для намотки следующей катушечной группы.

После намотки комплекта катушек на фазу (2, 3 или 4 катушечные группы) шаблоны поворачиваются и с помощью введенного оператором съемника сдвигаются. Оператор вручную снимает комплект катушечных групп съемником и передает их на всыпной станок.

На станке НвС4А намотка катушечной группы производится на вращающийся шаблон при перемещении раскладчика, который выполняет переброс провода с одной катушки на другую. На станке автоматически без разрыва провода осуществляется намотка только одной катушечной группы. После намотки последней катушки группы нож отрезает провод и зажимает оставшийся конец. Съем катушечной группы осуществляется вручную с помощью закрепленного на поворотном устройстве переносного приспособления.

Таблица 64. Технические данные намоточных станков

Параметры	Тип станка				
	НвС2А	НвС3А	НвС4А	ОС2А	ОСп1Б
Скорость намотки, об/мин	До 3000	600—1500	75—600	350—750*	400—1200*
Угол качания проводоводителя, град	—	—	—	30—175	30—170
Число пазов статора	—	—	—	16, 18, 24, 28, 32, 36	—
Регулирование скорости намотки	Плавное	Плавное	Ступенчатое	—	—
Шаг раскладки витков, мм	0,1—1,4	0,5—3	1—12	—	—
Регулирование шага раскладки	Плавное	Плавное	Ступенчатое	—	—
Наружный диаметр сердечника, мм	—	—	—	80—170	30, 50 100**
Внутренний диаметр сердечника, мм	45—112	95—165	130—250	45—95	30—50**
Длина сердечника, мм	40—130	100—180	110—220	20—110	10—60**
Диагональ наматываемой катушки, мм	95—275	120—360	150—440	—	—
Диаметр обмоточного провода по меди, мм	0,5—1,3	0,5—1,4	0,7—1,56	0,4—1,2	0,1—0,55
Число витков в катушке	999	999	99	3999	50—400
Число катушек в концентрической группе	1, 2, 3	1—4	2—4	1—5	—
Количество одновременно наматываемых катушек	—	—	—	До 4	1, 2, 3, 4, 6
Число последовательно наматы-	2, 3, 4	2,4	1	2	—

* Скорость намотки выражается в двойных ходах в минуту.
** Данные относятся к статору.

Параметры	Тип станка				
	НвС2А	НвС3А	НвС4А	ОС2А	ОСп1Б
ваемых катушечных групп (без разрыва)					
Число параллельных проводников в катушке	1	2	10	1	—
Число пар полюсов	—	—	—	2, 4, 6	2, 4, 6
Максимальная длина раскладки, мм	180	160—240	500 и 300	—	—
Мощность, кВт	4,04	9,0	9,0	4	—
Габаритные размеры, мм	4000× ×1000× ×1800	4300× ×1560× ×2030	3590× ×1500× ×2200	2600× ×2400× ×1800	2790× ×2540× ×1810
Масса, кг	1750	2300	3000	2200	2600

40. Станки ВС2А, ВС3А, ВС4А, РС2А для втягивания обмоток в пазы статоров

Станки (табл. 65) предназначены для втягивания в пазы, заклинивания пазовыми крышками-клиньями и постадийного формования обмоток статоров (при использовании станка ВС2А предварительный разжим лобовых частей осуществляется на отдельно стоящем станке РС2А), работают в комплекте с намоточными станками.

Станок состоит из станины с гидроприводом, механизма изготовления клиньев, электрооборудования. Оснастка к станкам включает оправку для втягивания катушек, штампы с программным устройством для изготовления клиньев.

Характерными особенностями станков ВС3А и ВС4А являются наличие статорной головки, механизма передачи статоров и отжимной головки, входящей в оснастку.

Оператор устанавливает статор в статорную головку (или на оправку в станке ВС2А) и нажатием кнопки приводит в движение каретку оправки. Толкатели клиньев выталкивают их из кассеты в направляющие. Катушки втягиваются в пазы статора и одновременно заклиниваются. Толкатели возвращаются в исходное положение, и статор снимается с оправки.

При постадийном втягивании катушечных групп требуется разжим лобовых частей предыдущего яруса для втягивания катушек последующего. На станках ВС3А и ВС4А после втягивания первого яруса обмотки сердечник перемещается от втягивающей оправки к разжимной, находящейся на том же станке. После втягивания обмотки на станке ВС2А разжим ее осуществляется на станке РС2А. Статор от втягивающей оправки к разжимной на станках ВС3А и ВС4А передается механизмом перемещения статоров (передача статора от станка ВС2А к разжимному РС2А выполняется вручную, загрузка и съем статора на станке ВС4А — консольно-поворотным краном).

Таблица 65. Технические данные станков для втягивания

Параметры	Тип станка			
	ВС2А	РС2А	ВС3А	ВС4А
Продолжительность рабочего хода механизма втягивания, с	До 6	—	До 6	До 8
Максимальное усилие втягивания, Н	20000	—	60 000	60 000
Продолжительность цикла формования (машинное время), с	—	7	До 15	До 25
Максимальное усилие формования, Н	—	10 000	10 000	35 000
Внутренний диаметр сердечника, мм	45—100	65—100	95—160	132—250
Максимальный наружный диаметр сердечника, мм	160	160	240	350
Длина сердечника, мм	10—130	20—130	100—180	100—215
Число пазов	16, 18, 24	28, 32, 36, 48	24, 36, 48, 54	36, 48, 54, 72
Максимальный диаметр провода (по меди), мм	1,04	—	1,1	1,0 ($2p=2$); 1,12 ($2p=4$, 6,8)
Габаритные размеры, мм	1700×710×1360	1300×500×1350	3200×1500×2180	3520×1800×2680
Масса, кг	1500	670	2500	3300

41. Станок ОпС2А для осадки обмотки в пазах статоров

Станок предназначен для осадки рабочей обмотки в пазах статоров однофазных двигателей с целью облегчения последующей укладки пусковой обмотки.

Станок состоит из станины, механизма подачи статора в зону осадки, стола, механизма осадки, пневмосистемы и электрооборудования. Оснастка включает корзину для загрузки статоров (с элементами защиты пазовых коробов), осадочную головку, конусы для разжима лобовых частей и упоры.

Стол станка перед началом работы находится в нижнем положении, ножи утоплены в пазах осадочной головки. Оператор устанавливает статор в гнездо и перемещает его в зону осадки. При нажатии кнопок «Пуск» и «Блокировка» стол поднимается вверх. Когда он доходит до крайнего положения, по сигналу конечного выключателя воздух подается в верхний пневмоцилиндр. Шток цилиндра, двигаясь вниз, разжимает ножи осадочной головки, которые входят в пазы статора. В нижнем положении штока срабатывает конечный выключатель, подающий сигнал на перемещение его вверх. Ножи под действием пружин утапливаются, и нажимается конечный выключатель, подающий сигнал на опускание стола.

Технические данные: максимальный наружный диаметр статора — 170 мм; внутренний диаметр статора — 45—115 мм; число пазов — 8, 12, 16, 18, 24, 28, 32, 36, 48; машинное время цикла — не более 12 с; максимальное усилие осадки обмотки — 33 000 Н; привод — пневматический с электрическим управлением; габаритные размеры — 650×700×2200 мм; масса — 650 кг.

42. Заклиновочные станки ЗС2А, ЗС3А, ЗС345Б

Станки ЗС2А и ЗС3А предназначены для заклинивания обмотки в пазах статоров, а ЗС345Б служит для изготовления крышек-клиньев (табл. 66).

Таблица 66. Технические данные заклиновочных станков

Параметры	Тип станка		
	ЗС2А	ЗС3А	ЗС345Б
Размеры сердечника статора, мм:			
внутренний диаметр	60—112	95—160	95—345
максимальный наружный диаметр	170	240	—
длина	20—130	100—180	100—270
Число пазов	16, 18, 24, 28, 32, 36	24, 36, 48, 54	—
Длина крышки-клина, мм	30—140	110—190	110—295
Ширина развертки крышки-клина, мм	10—18	12—18	12—30

Параметры	Тип станка		
	3С2А	3С2А	3С345Б
Толщина изоляционного материала, мм	0,2—0,5	0,25—0,7	0,25—0,7
Скорость заклинивания, пазы/мин	80	60	—
Производительность, крышки-клинья/мин	—	—	60—100
Мощность электродвигателя, кВт	0,8	0,8	0,8
Габаритные размеры, мм	1180×920×1385	1470×950××1350	1200×550××1550
Масса, кг	900	1000	550

Каждый из этих станков состоит из станины, привода, механизма передачи движения от привода к исполнительным механизмам и подающему устройству, подающего устройства, бухтодержателя, электрооборудования. В оснастку к станкам 3С2А, 3С3А входят: головка зажима статора, блок ножей, досылатель, правая и левая полуматрицы и другие сменные детали.

Ролик изоляционного материала устанавливается на бухтодержателе, конец ленты вводится в щели подающего устройства. Оператор вручную закрепляет статор на головке станка.

При включении станка подающее устройство протягивает ленту изоляционного материала в зону штампоформующего устройства, которое отрезает заготовку и формует ее. Матрица отжимает обмотку вверх, освобождая место для прохождения клина в паз статора. Досылатель выталкивает крышку-клин из канала матрицы в паз статора, закрепленного на периодически поворачивающейся головке. По окончании заклинивания станок автоматически останавливается, и оператор вручную снимает статор с головки станка (на станке 3С3А оператор скатывает готовый статор на склиз). Для предотвращения выпадания витков обмотки через шлиц в расточку статора предварительно устанавливают гладкую или шлицевую оправку.

Отличительной особенностью станка 3С345Б является тара для накопления крышек-клиньев. В его оснастку входят зиговочные и формующие ролики, подвижный и неподвижный ножи. При включении станка лента подается в зону изготовления крышек-клиньев, где происходит формование, отрезка и выталкивание готовой крышки-клина в тару.

43. Станки ФС1А, ФС23А, ФС23Б, ФС45А для формования обмоток статоров

Станки (табл. 67) предназначены для формования и калибровки лобовых частей обмотки статора.

Таблица 67. Технические данные станков для формования

Параметры	Тип станка			
	ФС1А	ФС23А	ФС23Б	ФС45А
Продолжительность цикла формования, с	10	16	16	25
Максимальное расстояние между торцовыми шайбами, мм	300	600	600	750
Максимальный рабочий ход одной головки, мм	100	150	120	—
Число башмаков	6	6	8	8
Максимальное осевое усилие формования, Н	10 000	25 000	15 000	60 000
Радиальное усилие на один формующий элемент, Н	3000	8000	8500	20 000
Привод	Пневматический	Электрогидравлический		
Максимальное давление в гидросистеме, МПа	—	6	6	6
Размеры сердечника, мм:				
внутренний диаметр	30—60	45—160	45—160	132—315
максимальный наружный диаметр	120	240	240	440
длина	10—100	20—180	20—180	180—260
Габаритные размеры, мм	1100×550××1080	1675××780××1230	1550××870××1120	2140××1515××1455
Масса, кг	735	950	1500	2250

Ось статора при формовании находится в горизонтальном положении. Формование осуществляется одновременно с двух сторон.

Основные части станков: станина, формующие головки, электрооборудование, гидрооборудование (пневмооборудование) и оснастка. Оснастка состоит из приспособления (статорной головки)

и сменных деталей (башмаков, кулаков, заходных конусов, полуколец, упоров).

Оператор устанавливает статор в статорную головку. После включения станка гидроцилиндр (пневмоцилиндр) перемещает формующие головки. При сближении головок заходные конусы, предохраняющие внутренние витки от смятия, входят в лобовые части обмотки, которые сначала формуются в осевом направлении торцевыми шайбами, затем по внутренней и наружной поверхностям в радиальном направлении раздвижными элементами.

44. Бандажировочный станок БС23Б

Станок БС23Б предназначен для бандажирования лобовых частей обмоток статоров электродвигателей с внутренним диаметром сердечника 65—160 мм и высотой лобовой части 32—65 мм.

Станок состоит из станины, привода, механизма петлеобразования, тормозных устройств, нитенаправителей, механизма загрузки статоров, электрооборудования, пульта управления, оснастки. В состав оснастки входят поворотный стол, трехкулачковая оправка, закрепленная на загрузочном устройстве.

Статор устанавливают на призмы поворотного стола вручную. В расточку статора вводится оправка механизма загрузки. Автоматически статор зажимается кулачками оправки и приподнимается над призмами.

Бандажирование выполняется автоматически двухниточным цепным краеобметочным стежком с помощью радиусной иглы и петлителя.

Технические данные: максимальная скорость бандажирования — 120 стежков/мин; максимальный наружный диаметр сердечника — 225 мм; длина 65—180 мм; число пазов — 24, 36, 48, 54; габаритные размеры станка —1050×1390×1370 мм; масса — 1500 кг.

Бандажирование производится синтетической нитью толщиной не более 2 мм.

45. Установка УСПЗ-4 для соединения проводов

Установка УСПЗ-4 предназначена для соединения проводов методом опрессовки. Она состоит из пневмогидроусилителя и гидравлических клещей, соединенных гибким рукавом, рассчитанным на высокое давление. В комплект входят гидравлические клещи с соответствующим набором инструмента. Они установлены на стойке и могут перемещатьси в любую зону соединения проводов.

Оператор вставляет в клещи соединительную гильзу, а в гильзу — провода, нажимает педаль, пуансон и матрица смыкаются, обжимая провода и образуя прочное соединение.

Технические данные: количество клещей на стойке — 3; усилие обжатия — $(3 \div 10) \cdot 10^4$ Н; техническое время обжатия — 3 с; сечение соединяемых проводов — 4,3—6 мм², габаритные размеры пневмогидроусилителя — 325×318×740 мм; высота стойки — 2140 мм; вылет стрелы — 2000 мм; масса пневмогидроусилителя — 184 кг, стойки — 312 кг, клещей — 3—8,4 кг.

46. Автомат АПзВ123-1А для изготовления выводных проводов

Автомат предназначен для мерной резки подаваемого из бухты провода, зачистки с обоих концов изоляции, оконцевания заготовок кабельными наконечниками методом опрессовки.

Провод из разматывающего устройства подается периодически вращающимися валками механизма подачи через подвижную пиноль в зону вращения ножей для подрезки и снятия изоляции. Отрезанный и зачищенный провод собачками транспортного ротора перемещается в зону пресса для оконцевания зачищенного конца наконечником. При дальнейшем движении транспортного ротора провод подается на позицию загрузки автоматического выбрасывателя из предварительно раскрытых собачек.

Технические данные: производительность (наибольшая) — 4000 шт/ч; сечение жилы провода 0,75—6,0 мм^2; точность резки ±2 мм; мощность 3,8 кВт; габаритные размеры 3950×660×1500 мм; масса 1200 кг.

47. Агрегатный станок АНвС1А-5 и автоматизированный комплекс для изготовления статоров

Станок АНвС1А-5 предназначен для намотки, втягивания и заклинивания пазовыми крышками катушечных групп статоров различной полюсности с внутренним диаметром сердечника 45—95 мм, длиной 10—120 мм.

Станок состоит из станины с гидробаком, намоточной головки, поворотного стола, механизмов фиксации шаблона, поворота оправки, фиксации статора, втягивания и изготовления клиньев, оправки для втягивания катушек, сменной оснастки.

При работе станка витки катушек, образованные с помощью намоточной головки, попадают в щели между штырями оправки для втягивания катушек. На поворотном столе одновременно устанавливаются три оправки. В то время как на одну из них наматывается провод, на другую устанавливаются пазовые крышки. После окончания намотки стол поворачивается и оправка с катушками подается на позицию втягивания. Оператор надевает статор на оправку, нажимает кнопку «Втягивание». Статор зажимается, происходит втягивание катушек в пазы статора и заклинивание их пазовыми крышками. Одновременно на соседних позициях производятся операции намотки катушек и изготовления пазовых крышек.

Технические данные: количество шпинделей — 1; количество оправок на поворотном столе (комплектов) — 3; частота вращения шпинделя — 3000 об/мин; диаметр обмоточного провода (по меди) — 0,3—1,2 мм; максимальное усилие втягивания — 20 000 Н; мощность электродвигателя — 6 кВт; масса — 2500 кг.

Автоматизированный комплекс предназначен для изготовления статоров электродвигателей с ∅ 45—112 мм. Комплекс выполнен на базе серийного оборудования для автоматизации следующих процессов: изолирования пазов, намотки и укладки обмотки; изготовления пазовых крышек и установки их в пазы; формования и бандажирования лобовых частей; контроля и пропитки обмоток. Для перемещения изделий по технологическому потоку, загрузки их на станки применяются автоматизированные манипуляторы, подающие устройства и шаговые конвейеры.

Технические данные: производительность — 400 000 статоров/год; средний расчетный такт — 0,5 мин; трудоемкость — 10 мин/статор; количество манипуляторов — 20; количество единиц транспортного оборудования — 19; количество единиц технологического оборудования — 27; габаритные размеры — 4800×8000×4000 мм; масса — 60 000 кг.

48. Транспортные системы ТрС12А, ТрС3А, ТрС4А

Транспортные системы (табл. 68) предназначены для последовательного перемещения статоров электродвигателей в процессе их изготовления.

В транспортную систему входят: приводная и натяжная станции, пульт управления, секции конвейера и полотна, электрооборудование. Наличие типовых секций позволяет монтировать транспортные системы различной длины.

Таблица 68. Технические данные транспортных систем

Параметры	Тип транспортной системы		
	ТрС12А	ТрС3А	ТрС4А
Ритм конвейера, мин	1—3	1—7	1—15
Скорость движения ленты (тележек), м/мин	12	12	3,04; 6
Шаг тележек, мм	—	609,6	1752
Шаг перемещения конвейера за один такт, мм	600	609,6	—
Ширина ленты, м	0,3	—	—
Мощность электромеханического привода, кВт	1,5	2,5	2,2
Размеры сердечника, мм:			
внутренний диаметр	30—112	95—160	132—250
наружный диаметр	50—170	168—225	225—350
длина	80—225	195—290	240—384
Масса сердечника, кг	0,2—7	7—20	15—70
Масса статора с обмоткой, кг	0,8—15,2	10—28	17—78
Габаритные размеры, мм:			
длина	4600—21401	19504—39008	30950—4860
ширина	725	700	4200
высота	1400	2700	2700
Масса, кг	750—1900	2700—4300	4630—7250

Транспортная система типа ТрС12А представляет собой ленточный пульсирующий конвейер, типа ТрС3А — вертикально замкнутый пульсирующий тележечный конвейер с адресной подачей статоров на рабочие места, типа ТрС4А — горизонтально замкнутый пульсирующий тележечный конвейер с адресной подачей статоров на рабочие места. В транспортную систему также входят угловые секции и перегружатели.

Транспортные системы могут работать в нескольких ритмах: в принудительном, в принудительном с задержкой такта («бригадный автотемп») и в наладочном.

Транспортная система ТрС12А работает в принудительном ритме. За один такт лента конвейера перемещает статоры на один шаг, равный расстоянию между рабочими местами. Затем происходит отсчет такта, и конвейер снова передвигается на один шаг. Заданный ритм позволяет синхронно выполнять операции по всему технологическому циклу. Транспортная система может работать и в наладочном ритме; непрерывность движения и остановка конвейера обеспечиваются управлением от кнопочной станции.

Транспортные системы ТрС3А и ТрС4А могут работать в принудительном ритме, а также в ритме «бригадный автотемп». В этом случае тележки перемещаются на один шаг. Дальнейшее передвижение конвейеров возможно при поступлении сигнала об окончании операций на рабочих местах. Предпочтительный режим работы конвейера — в принудительном ритме.

В транспортной системе ТрС3А перегрузка статоров с конвейера на рабочие места и обратно выполняется вручную, в транспортной системе ТрС4А — двуплечевым механическим оператором.

49. Полуавтоматы БР-1, БР-2, БР-3 для бандажирования роторов

Полуавтоматы (табл. 69) предназначены для бандажирования роторов (якорей) электрических машин стеклолентой. В состав полуавтомата входят: станина, передняя и задняя бабки, редуктор ускоренного перемещения и каретка, в корпусе которой размещены механизм реверсивного перемещения (раскладки) и механизм для натяжения стеклоленты.

Таблица 69. Полуавтоматы для бандажирования роторов (якорей) стеклолентой

Параметры	БР-1	БР-2	БР-3
Диаметр ротора, мм	80—250	200—650	500—1200
Максимальное натяжение стеклоленты, Н	2000	2000	До 3000
Подача каретки, мм/оборот ротора	6, 12, 24	3, 6, 12	3, 6, 12
Частота вращения, об/мин	42, 65, 130, 200	10, 14, 21, 74, 97, 150	10, 14, 20, 35, 45, 70

Параметры	БР-1	БР-2	БР-3
Ускоренное перемещение каретки, мм/с	80	60	100
Мощность, кВт	3,4	4,0	9,0
Габаритные размеры, мм	2290×950××1275	3330××1030×1380	5550××2000×1600
Масса, кг	1700	2250	7600

Бобина (или несколько бобин) устанавливается на оси отдающего устройства, конец ленты с бобины закрепляется на роторе (якоре). Каретка со стеклолентой вводится в зону намотки первого бандажа, включается механизм автоматической раскладки. После намотки первого бандажа каретку на ускоренной передаче переводят в зону наложения второго, а затем следующих бандажей.

Механизм натяжения ленты обеспечивает регулирование и поддержание значения натяжения при вращающемся и остановленном шпинделе. Контрольные приборы вынесены на пульт управления.

50. Станки РТ-51, РТ-52 и ОМ-1 для резки изоляционных трубок и материалов

Станок РТ-51 предназначен для мерной резки и цветной маркировки через типографскую фольгу поливинилхлоридных изоляционных трубок. Станок состоит из привода, механизмов подачи, резки и маркировки, бухтодержателя и электрооборудования.

Трубка из бухты заправляется вручную между роликами механизма подачи. Клеймом маркировочного механизма, нагретого до 120—150 °С, наносится на трубку соответствующий оттиск, затем трубка заданной длины отрезается.

Технические данные: производительность — 60 трубок/мин; внутренний диаметр трубки — 5—10 мм; высота шрифта маркировки — 3,5 мм; мощность электродвигателя — 0,6 кВт; габаритные размеры — 1590×635×1120 мм; масса — 500 кг.

Станок РТ-52 предназначен для мерной резки изоляционных трубок (лакированных, эластомерных и пластмассовых) марок ТКС, ТКР, ТЛВ, ТЛС, ТЭС, ТЭЛ. Станок состоит из механизма подачи и резки трубок, привода и электрооборудования.

Пучок трубок вручную заправляют в механизм подачи и резки. После включения станка трубки подаются на заданную длину и отрезаются.

Технические данные: производительность — 15, 25 резов/мин; длина отрезаемой трубки — 10÷300 мм; количество одновременно отрезаемых трубок — не менее 15; мощность электродвигателя — 0,6 кВт; габаритные размеры — 1650×500×1150 мм; масса — 450 кг.

Станок ОМ-1 предназначен для резки рулонов из полиэтилентерефталатной пленки, композиционных материалов на ее основе и картона из синтетических волокон. Станок состоит из сварной станины, привода, редуктора, намоточного, промежуточного и тормозного валов, блоков нижних и верхних ножей и тормозного устройства.

Разъемный намоточный вал имеет два сегмента для закрепления разрезаемой ленты. Промежуточные валы натягивают ленту и перемещают ее через блоки верхних и нижних ножей от тормозного вала к намоточному. На тормозном валу с установочным и подвижным конусами помещают рулон изоляционного материала. Блоки верхних и нижних ножей представляют собой наборы ножей с закрепленными на валах сменными прокладками.

Тормозной вал с рулоном изоляционного материала вставляется в пазы боковых стенок станка. Лента закрепляется на намоточном валу и пропускается через промежуточные валы. Затем опускается блок верхних ножей, включается станок и начинается резка.

Технические данные: скорость резания — 19,5 м/мин; максимальный диаметр рулона — 350 мм; максимальная ширина рулона — 100—250 мм; ширина полосы — 8—20 мм; регулирование ширины полосы — 0,5 мм; отклонение ширины полосы от номинального значения — ±0,1 мм; мощность электродвигателя — 1,5 кВт; габаритные размеры — 930×900×1000 мм; масса — 370 кг.

51. Пропиточно-сушильные установки

Установки ПоС2-2, ПоС4-3, УПС-2, УПС-5, УПС-9, УПС-10 предназначены для выполнения комплекса технологических операций — пропитки и термообработки всыпных обмоток статоров (табл. 70). Пропитка осуществляется составом КП-34 капельным методом, термообработка в установках УПС-2, УПС-5 — методом индукционного нагрева, в остальных — путем нагрева током промышленной частоты. Пропитка и термообработка выполняются автоматически по заданной программе.

В состав установок роторного типа ПоС2-2, ПоС4-3, УПС-9, УПС-10 входят: станина, вращающийся стол с приспособлениями для закрепления и вращения статоров, устройство для распределения и дозирования пропиточного состава, электропривод и устройство для токового нагрева пропитываемых обмоток. Все механизмы размещены в каркасе, имеющем смотровые окна и фланец для подсоединения к системе вытяжной вентиляции.

Подключенная к выводам питания обмотка последовательно подвергается предварительному нагреву, пропитке и термообработке до полного отверждения пропиточного состава. На позициях пропитки статор занимает наклонное положение и вращается вокруг своей оси.

Установки УПС-2, УПС-5 — линейного типа. Каждая установка состоит из станины, приспособлений для закрепления и вращения пропитываемых статоров, двух индукторов и дозатора. На установке УПС-5 имеется пневматический выталкиватель для выгрузки пропитанных статоров. На установке УПС-2 выгрузка статоров проводится вручную.

Установки УПЯ-1, УПЯ-2, УПЯ-3 предназначены для выполнения комплекса технологических операций по пропитке и термообработке всыпных обмоток якорей электрических машин постоянного тока (табл. 70). Пропитка осуществляется составом типа КП-34 капельным методом, термообработка — методом индукционного нагрева.

Таблица 70. Технические данные установок ПоС2-2, ПоС4-3, УПС-2, УПС-5, УПС-9, УПС-10, УПЯ-1, УПЯ-2, УПЯ-3

Параметры	Тип установки								
	ПоС2-2	ПоС4-3	УПС-2*	УПС-5*	УПС-9	УПС-10	УПЯ-1	УПЯ-2	УПЯ-3
Наружный диаметр сердечника, мм	100—153	150—250	110—150	150—250	250—320	90—110	160—200	110—160	85—110
Производительность, статор/ч	60—30	25—22	5,4—3,75	3,25—2,85	11	60	1**	2,0—2,8**	7**
Количество позиций	18	18	2	2	12	16	2	3	8
Угол наклона сердечника при пропитке, град	20, 15, 0	20, 15, 0	20	20	10	20, 15, 0	10	12—15	15
Мощность, кВ·А	30	80	12	22	163	12	25	35	28
Количество отсасываемого воздуха, м³/ч	6000	6000	—	—	6000	2000	3000	3000	4000
Габаритные размеры, мм	3550×2600×3885	3550×2600×3885	1160×950×1800	1690×1630×2030	3550×2600×3700	1800×1500×2565	3015×1200×2130	3015×1280×2130	3590×3130×2300
Масса, кг	3000	8000	850	1800	8000	3500	3100	3100	6300

* Установки для однофазных и многоскоростных двигателей.
** Производительность, якоря/ч.

Пропитка и термообработка на установках выполняются автоматически по заданной программе. Для нагрева обмоток служит индуктор. После предварительного подогрева якорь в приспособлении поворачивается на заданный угол и начинает вращаться с частотой (25±5) об/мин. Заранее установленная доза пропиточного состава подается из двух сопл на лобовую часть обмотки. Через определенный промежуток времени поступает следующая порция пропиточного состава. Для якорей с сердечниками относительно небольших диаметров применяется однократная пропитка. Пропитанный якорь возвращается в горизонтальное положение и продолжает вращаться до окончания термообработки.

Установки УПЯ-1, УПЯ-2 линейного типа, УПЯ-3 — роторного типа. Эти установки аналогичны по конструкции. В состав каждой из них входят: устройство для дозирования и распределения пропиточного состава, специальные приспособления для крепления якорей с механизмами вращения и индукторы для нагрева обмоток. Корпус установки имеет смотровые окна и фланец для присоединения к системе вытяжной вентиляции. Приспособления для крепления и индукторы рассчитаны на определенный наружный диаметр сердечника якоря.

На установках УПЯ-1 и УПЯ-2 приспособления для крепления якорей находятся на неподвижной основе, а на установке УПЯ-3 — на вращающемся столе; на установках УПЯ-1 и УПЯ-2 пропиточный состав подается одновременно на все якоря, расположенные на приспособлениях, на установке УПЯ-3 — на один якорь, находящийся на позиции пропитки; на установках УПЯ-1 и УПЯ-2 загрузка и выгрузка якорей производятся грузоподъемными средствами цеха, а на установке УПЯ-3 загрузка и выгрузка якорей, размещенных на конвейере-накопителе, выполняются автоматически специальным механизмом.

Высокопроизводительные конвейерные пропиточно-сушильные установки типа АВБ (табл. 71) выпускаются фирмой «Хитека» (ВНР) и предназначены для пропитки обмоток под вакуумом и давлением.

Установка имеет замкнутую конвейерную трассу. Цепной конвейер с подвесками для размещения пропитываемых изделий совершает прерывистое движение. На погрузочно-разгрузочной станции на подвески навешиваются изделия. На одну подвеску в установке с диаметром автоклава 750 мм может быть помещено 14 статоров ∅ 168 мм и длиной 230 мм. Статоры на подвесках поступают в камеру предварительной сушки, где в течение 30—60 мин нагреваются до 60—70 °С. Подогретые статоры подаются в автоклав, представляющий собой шарообразный сосуд, разделенный на две части, которые автоматически раздвигаются, давая возможность проникнуть внутрь подвеске с изделиями, а затем сдвигаются, образуя герметизированную камеру. В автоклаве производится вакуумирование до остаточного давления $0{,}027 \cdot 10^5$ Па, при котором из обмоток удаляются влага и газы. Затем вакуум снижается до $(0{,}13 \div 0{,}4) \cdot 10^5$ Па и автоклав заполняется лаком. Обмотки насыщаются пропиточным материалом. Повышение давления до $(2 \div 3) \cdot 10^5$ Па способствует более глубокому проникновению лака в обмотку. Такая технология пропитки позволяет применять вязкие лаки с большим содержанием пленкообразующих. После слива лака давление доводится до атмосферного. При применении пропиточного состава с растворителем создание повторного вакуума $(0{,}053 \div 0{,}13) \cdot 10^5$ Па в течение 1—2 мин способствует интенсивному испарению растворителя. Лак становится настолько вязким, что практически не вытекает из обмотки после пропитки и при сушке.

Таблица 71. Основные технические данные установок АВБ

Параметры	Тип установки					
	АВБ-1	АВБ-3	АВБ-31	АВБ-32	АВБ-33	АВБ-4
Площади для размещения, м	7×25	7×25	6×15	6×12,5	6×22,8	4,5×7,5
Высота, м	6	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Масса без теплоизоляции, кг	40 000	40 000	15 000	16 000	26 000	7000
Мощность, кВт	60*	420	218	184	322	62
Внутренний диаметр автоклава, мм	780 или 876	780 или 876	484	484	484	484
Длина трассы конвейера, м	87,6	87,6	42,4	32	73,6	—
Количество подвесок для изделий, шт.	73	73	53	40	92	4
Максимальная нагрузка на подвеску, кг	350	350	150	150	150	150
Количество подвесок, размещающихся в сушильной печи, шт.	31	31	32	19	71	—
Количество подвесок, размещающихся в печи подогрева, шт.	7	7	4	4	4	—

* Кроме электроэнергии установка потребляет 500 кг/ч насыщенного пара.

Примечание. Кроме электроэнергии установки снабжаются сжатым воздухом и водой для охлаждения.

Использование вязкого лака и дополнительное повышение его вязкости сразу после пропитки в автоклаве позволяет получить качественную изоляцию обмотки за одну пропитку.

Из автоклава подвеска со статорами попадает в сушильную печь. Сушка производится в две ступени в течение 3—6 ч. После сушки статоры попадают в камеру охлаждения, а затем — на погрузочно-разгрузочную станцию.

VIII. КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Контроль качества изготовленных обмоток включает следующие операции: визуальный осмотр, проверку размеров обмотки, правильности выполнения соединений и маркировки выводов, отсутствия замыканий между пластинами коллектора, качества пайки, измерение сопротивления обмоток при постоянном токе, испытание изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками на электрическую прочность; испытание междувитковой изоляции на электрическую прочность.

При осмотре обмоток проверяют наличие всех элементов (клиньев, прокладок, бандажей и т. д.), предусмотренных чертежом, плотность наложения бандажей, изоляции, правильность установки изоляционных прокладок и т. д. Размеры обмоток определяют универсальным мерительным инструментом, шаблонами или с помощью макетов. Качество пайки контролируют путем осмотра, а также с помощью измерительных приборов или специальных устройств.

Дефекты в обмотках могут возникнуть на всех этапах их изготовления, поэтому целесообразно производить контроль в процессе намотки, укладки и соединения катушек обмотки (табл. 72—76). Однако в массовом автоматизированном производстве, когда качество гарантируется отлаженным технологическим процессом и четкой работой оборудования, ограничиваются контролем готового статора.

Таблица 72. Испытательные напряжения изоляции обмоток относительно корпуса и между обмотками в собранной машине

Электрическая машина или ее части	Испытательное напряжение
Машины мощностью менее 1 кВт (или 1 кВ·А) на номинальное напряжение ниже 100 В	500 В + двукратное номинальное напряжение
Машины мощностью от 1 кВт (или 1 кВ·А) и выше на номинальное напряжение ниже 100 В	1000 В + двукратное номинальное напряжение
Машины: мощностью до 1000 кВт (или 1000 кВ·А), за исключением вышеперечисленных мощностью от 1000 кВт (или 1000 кВ·А) и выше на номинальное напряжение до 3300 В включительно	 1000 В + двукратное номинальное напряжение, но не менее 1500 В 1000 В + двукратное номинальное напряжение
Обмотки возбуждения синхронных генераторов	Десятикратное номинальное напряжение возбудительной системы, но не менее 1500 и не более 3500 В

Электрическая машина или ее части	Испытательное напряжение
Обмотки фазных роторов асинхронных двигателей:	
реверсивных	1000 В + четырехкратное номинальное напряжение обмотки ротора
нереверсивных	1000 В + двукратное номинальное напряжение обмотки ротора

Таблица 73. Испытательные напряжения обмоток статоров асинхронных двигателей и синхронных генераторов относительно корпуса и между фазами

Обмотка	Мощность машины, кВт	Номинальное напряжение, В	Испытательное напряжение, В				Время испытаний, с
			до укладки	после укладки	после пайки	после пропитки	
Всыпная	0,05—0,2	До 36	—	700	650	600	10
	0,05—0,4	37—250	—	1500	1300	1200	10
	0,4—10	До 500	—	2500	—	2200	10
	0,4—100	До 660	—	3000	2700	2500	60
Из жестких полукатушек	100—400	До 660	—	3500	3000	—	60
Из жестких изолированных катушек	100—500	До 500	4 500	3 500	3 000	—	60
	100—500	501—660	5 000	4 000	3 500	—	60
	Свыше 100	661—3300	13 500	11 500	9 000	—	60
	Свыше 100	3301—6600	22 000	18 500	17 500	—	60

Контроль обмоток статора начинается с проверки маркировки и сборки схемы соединения. Контроль трехфазных обмоток чаще всего производится индуктивным методом. Две фазы соединяют последовательно и подключают к источнику переменного тока пониженного напряжения. Если соединены концы фаз (встречно), то на третьей фазе напряжение будет равно нулю. При неправильной маркировке в третьей фазе возникает эдс, которая после усиления фиксируется индикаторным устройством.

Сопротивление обмоток при постоянном токе измеряется с помощью одинарного или двойного моста. Метод одинарного моста применяют для измерения сопротивлений выше 1 Ом. Сравнение измеренного сопротивления с заданным позволяет обнаружить следующие дефекты, допущенные при изготовлении обмоток: неправильное число витков, неправильное выполнение соединений кату-

шек, обрыв провода, неправильное сечение провода или число параллельных проводов.

Таблица 74. Испытательные напряжения обмоток фазных роторов асинхронных двигателей относительно корпуса и между фазами

Мощность двигателя, кВт	Рабочее напряжение обмотки ротора, В	Испытательное напряжение, В		
		до укладки	после укладки	после пайки и бандажирования
До 100 включительно *	До 500	—	3500	3000
То же	До 500	4000 (5000)	3000 (4000)	2500 (3500)
Свыше 100 до 1000 включительно	501—1000	5000 (7000)	4000 (6000)	3500 (5500)

* Для катушечных обмоток, остальные данные — для стержневых.

Примечания: 1. В скобках приведены значения для реверсивных машин. 2. Длительность испытаний 60 с.

Таблица 75. Испытательные напряжения обмоток якорей машин постоянного тока относительно корпуса

Рабочее напряжение, В	Испытательное напряжение, В			
	до укладки	после укладки	после пайки и бандажирования	после пропитки и обмочки коллектора
До 36*	—	1000	800	700
37—500*	— (3000)	2700 (2900)	2500 (2500)	2300 (2300)
До 110	—	2800	2600	2400
111—300	— (3500)	3000 (3200)	2700 (3000)	2500 (2700)
301—500	(3800)	(3500)	(3300)	(3000)
501—800	(4500)	(4000)	(3500)	(3200)
801—1000	(5500)	(4800)	(4500)	(3800)

Примечания: 1. Данные, приведенные для машин мощностью до 3 кВт, отмечены звездочкой, остальные данные для машин мощностью более 3 кВт. 2. В скобках приведены значения для обмоток с наложенной до укладки корпусной изоляцией. 3. Длительность испытаний для машин мощностью до 3 кВт — 10 с, для машин мощностью свыше 3 кВт — 60 с.

Таблица 76. Испытательные напряжения изоляции обмоток главных и добавочных полюсов относительно корпуса

Напряжение, В	Испытательные напряжения обмоток, В	
	до надевания на полюс	после сборки корпуса
Обмотки на каркасах, надеваемые на неизолированные полюсы		
До 36*	1000	800
Свыше 36 до 500 включительно*	2700	2500
До 100 включительно	2700	2500
Свыше 110 до 500 включительно	3500	3000
Свыше 500 до 800 включительно	4200	3500
Свыше 800 до 1000 включительно	5000	4000
Обмотки, надеваемые на изолированные полюсы		
До 24 включительно*	—	800
Свыше 24 до 110 включительно	—	2500
Свыше 110 до 500 включительно	—	3000
Свыше 500 до 800 включительно	—	3500
Свыше 800 до 1000 включительно	—	4000

Примечание. *Данные, приведенные для машин мощностью до 3 кВт, отмечены звездочкой, а остальные данные — для машин мощностью более 3 кВт.*

Таблица 77. Технические данные установок типа АКО и СИ

Параметры	Тип установки						
	АКО-25	АКО-28	АКО-30	СИ-4	СИ-6	СИ-10	СИ-11
Техническое время цикла, с	30	40	112	140	132	213	170
Количество рабочих позиций	8	9	2	2	2	2	2
Мощность, кВт	4	4,5	1	0,7	1	0,7	1
Режим работы	Автоматический			Полуавтоматический		Автоматический	Ручной
Общая масса, кг	—	—	—	900	1000	1200	900
Масса стола, кг	1550	1550	72,3	—	—	—	—
Масса шкафа, кг	600	600	275	—	—	—	—

Высокопроизводительные комплексно-механизированные установки типа АКО (табл. 77) предназначены для контроля обмоток статоров асинхронных двигателей основного исполнения и 19 модификаций с высотами оси вращения 71—112 мм мощностью до 10 кВт. Время для переналадки установки на различные исполнения 3 мин.

Все операции, программа и режимы испытаний на установках выполняются автоматически. Работа оператора сводится к подключению концов обмотки статора к выводам устройства. Производительность установок 300—400 тыс. статоров/год. Установку обслуживает один оператор.

Установка типа АКО состоит из испытательного стола с поворотной многопозиционной планшайбой и шкафа управления. На планшайбе размещены приспособления для установки статора и присоединения выводов статора к щеткам, которые при повороте планшайбы скользят по шинам и последовательно подключают статор к устройствам для контроля и испытаний обмотки.

Установка АКО-25 входит в состав автоматической линии по изготовлению статоров.

Универсальные стендовые установки типа СИ (табл. 77) и УКС используются в мелкосерийном производстве. Их производительность — 30—50 тыс. статоров/год. Они предназначены для контроля электродвигателей специального исполнения и модификаций, отличающихся схемой обмоток статора (однофазных, с тремя выводными концами и т. д.). На установках СИ-4, СИ-6, СИ-11 можно определить паз, в котором расположена дефектная катушка.

Оператор при работе на установке стендового типа устанавливает статор на стол, подключает концы обмотки к выводам установки и закрывает защитный колпак. Система блокирующих устройств обеспечивает безопасность труда оператора. При выявлении дефекта в обмотке подается сигнал, указывающий вид дефекта. Статор отключается от дальнейших испытаний.

IX. ОБМОТОЧНЫЕ ДАННЫЕ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

52. Обозначение обмоточных данных в таблицах

P — номинальная мощность двигателя, U — номинальное напряжение двигателя, D_a — наружный диаметр сердечника статора, D_i — внутренний диаметр сердечника статора, l_1 — длина сердечника статора, δ — односторонний воздушный зазор между статором и ротором, $2p$ — число полюсов, z_1 — число пазов статора, z_2 — число пазов ротора, y — шаг обмотки по пазам, d — диаметр провода (без изоляции), a, b — размеры сечения прямоугольного провода без изоляции, M — масса провода обмотки, $l_{ср}$ — средняя длина витка, a — число параллельных ветвей, r — сопротивление обмотки (фазы при трехфазной обмотке) при 20 °C.

Шаги обмоток в таблицах в целях экономии места обозначены одной цифрой. Например, для однослойной концентрической обмотки: $y=11$; 9; 7, что равноценно: 1—12; 2—11; 3—10 (катушки находятся одна внутри другой).

Число проводников в пазу n представлено в виде произведения. Множимое означает число эффективных проводников, множитель — число параллельных (элементарных) проводников. Для двухслойной обмотки число эффективных проводников представлено в виде суммы, причем каждое слагаемое означает число эффективных проводников в слое обмотки. Например:

1. Запись числа проводников в пазу $n=43$ означает, что обмотка однослойная, наматывается одним проводом (параллельных проводников нет), число эффективных проводников в пазу 43, общее число проводников в пазу 43.

2. Запись $n=43\times3$ означает, что обмотка однослойная, наматывается тремя параллельными проводами, число эффективных проводников 43, общее число проводников в пазу $43\times3=129$.

3. Запись $n=(16+16)\times2$ означает, что обмотка двухслойная, наматывается двумя параллельными проводами, число эффективных проводников в пазу $16+16=32$, в каждом слое обмотки 16 эффективных проводников, общее число проводников в пазу $(16+16)\cdot2=64$.

4. Запись $n=\frac{16\times2}{(8+8)\times2}$ означает, что обмотка одно-двухслойная, в числителе дано число проводников в пазах, где расположена большая катушка, занимающая весь паз, в знаменателе — число проводников в пазах, где обмотка расположена в два слоя.

53. Данные двигателей единой серии 4А

Обмоточные данные статоров приведены в табл. 78—83, фазных роторов — в табл. 84. Обозначение размеров пазов статора дано на рис. 94, роторов — на рис. 95.

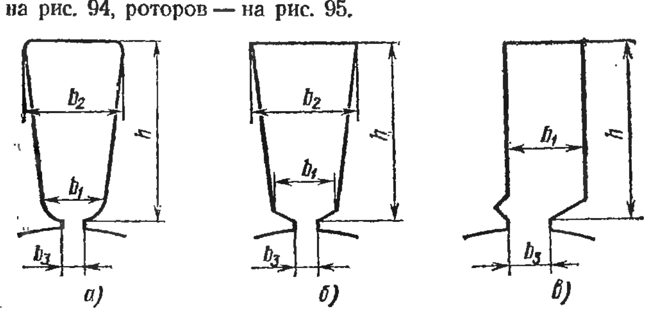


Рис. 94. Формы и размеры пазов статоров двигателей единой серии 4А

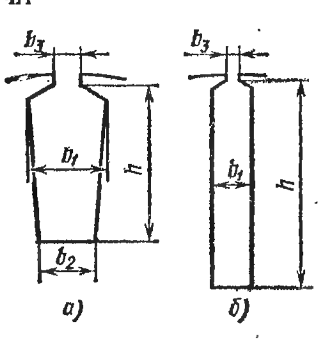


Рис. 95. Форма и размеры пазов фазных роторов двигателей единой серии 4А

При высоте вращения $h_{вр}=50$—132 мм для статоров применяется паз, приведенный на рис. 94, *а*, при высоте оси вращения $h_{вр}=160$ мм и более для всыпных обмоток паз указан на рис. 94, *б*, для жестких — на рис. 94, *в*. Для фазных роторов со всыпной обмоткой применяется паз, изображенный на рис. 95, *а*, со стержневой — на рис. 95, *б*.

Марки обмоточных и выводных проводов даны в табл. 85.

Таблица 78. Данные закрытых двигателей при высотах оси вращения 50—132 мм

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	z_1, мм	z_2, мм	δ, мм	b_1, мм	b_2, мм	b_3, мм	h_1, мм	y	$l_{ср}$, мм
4АА50А2УЗ	0,09	81	41	42	12	9	0,25	8,7	10,9	1,8	9,6	7; 5	294
4АА50В2УЗ	0,12	81	41	50	12	9	0,25	8,7	10,9	1,8	9,6	7; 5	310
4АА50А4УЗ	0,06	81	46	42	12	15	0,25	9,7	12,4	1,8	11,0	3	230
4АА50В4УЗ	0,09	81	46	50	12	15	0,25	9,7	12,4	1,8	11,0	3	246
4АА56А2УЗ	0,18	89	48	47	24	18	0,25	4,5	5,8	1,8	8,0	11; 9	306
4АА56В2УЗ	0,25	89	48	56	24	18	0,25	4,5	5,8	1,8	8,0	11; 9	324
4АА56А4УЗ	0,12	89	55	47	24	18	0,25	4,8	6,4	1,8	9,8	7; 5	257
4АА56В4УЗ	0,18	89	55	56	24	18	0,25	4,8	6,4	1,8	9,8	7; 5	275
4АА63А2УЗ	0,37	100	54	56	24	18	0,30	4,8	6,3	1,8	9,0	11; 9	390
4АА63В2УЗ	0,55	100	54	65	24	18	0,30	4,8	6,3	1,8	9,0	11; 9	350
4АА63А4УЗ	0,25	100	61	56	24	18	0,25	4,7	6,5	1,8	10,4	7; 5	272
4АА63В4УЗ	0,37	100	61	65	24	18	0,25	4,7	6,5	1,8	10,4	7; 5	290
4АА63А6УЗ	0,18	100	65	56	36	28	0,25	3,5	4,9	1,8	10,9	7; 5	244
4АА63В6УЗ	0,25	100	65	75	36	28	0,25	3,5	4,9	1,8	10,9	7; 5	282
4А71А2УЗ	0,75	116	65	65	24	20	0,35	5,9	7,5	2,0	9,3	11; 9	420
4А71В2УЗ	1,1	116	65	74	24	20	0,35	5,9	7,5	2,0	9,3	11; 9	438
4А71А4УЗ	0,55	116	70	65	24	17	0,25	5,2	7,3	2,0	11,6	7; 5	336
4А71В4УЗ	0,75	116	70	74	24	17	0,25	5,2	7,3	2,0	11,6	7; 5	354
4А71А6УЗ	0,37	116	76	65	36	28	0,25	3,9	5,5	2,0	12,2	7; 5	300
4А71В6УЗ	0,55	116	76	90	36	28	0,25	3,9	5,5	2,0	12,2	7; 5	350
4А71В8УЗ	0,25	116	76	74	36	28	0,25	3,9	5,5	2,0	12,2	5; 3	296
4А80А2УЗ	1,5	131	74	78	24	20	0,35	6,8	8,5	3,0	11,6	11; 9	474
4А80В2УЗ	2,2	131	74	98	24	20	0,35	6,8	8,5	3,0	11,6	11; 9	514
4А80А4УЗ	1,1	131	84	78	36	28	0,25	4,4	6,0	2,5	12,1	11; 9; 7	392

4A80B4У3	1,5	131	84	98	36	28	0,25	4,4	6,0	2,5	12,1	11; 9; 7	432
4A80A6У3	0,75	131	88	78	36	28	0,25	4,3	6,0	2,5	13,0	7; 5	336
4A80B6У3	1,1	131	88	115	36	28	0,25	4,3	6,0	2,5	13,0	7; 5	410
4A80A8У3	0,37	131	88	78	36	28	0,25	4,3	6,0	2,5	13,0	5; 3; 5	310
4A80B8У3	0,55	131	88	98	36	28	0,25	4,3	6,0	2,5	13,0	5; 3; 5	350
4A90L 2У3	3,0	149	84	100	24	20	0,40	8,1	10,1	3,2	12,6	11; 9	572
4A90L 4У3	2,2	149	95	100	36	28	0,25	4,8	6,5	3,0	12,9	11; 9; 7	462
4A90L 6У3	1,5	149	100	110	36	28	0,25	4,7	6,6	2,7	13,8	7; 5	432
4A90L A8У3	0,75	149	100	100	36	28	0,25	4,7	6,6	2,7	13,8	5; 3; 5	370
4A90L B8У3	1,1	149	100	130	36	28	0,25	4,7	6,6	2,7	13,8	5; 3; 5	430
4A100S 2У3	4,0	168	95	100	24	20	0,45	9,1	11,3	3,5	14,1	11; 9	634
4A100L 2У3	5,5	168	95	130	24	20	0,45	9,1	11,3	3,5	14,1	11; 9	694
4A100S 4У3	3,0	168	105	100	36	28	0,30	4,9	7,1	3,0	15,8	11; 9; 7	500
4A100L 4У3	4,0	168	105	130	36	28	0,30	4,9	7,1	3,0	15,8	11; 9; 7	560
4A100L 6У3	2,2	168	113	120	36	28	0,30	5,4	7,5	3,0	15,4	7; 5	470
4A100L 8У3	1,5	168	113	120	36	28	0,30	5,4	7,5	3,0	15,4	5; 3; 5	436
4A112M2У3	7,5	191	110	125	24	22	0,60	10,5	12,6	3,5	15,1	11; 9	700
4A112M4У3	5,5	191	126	125	36	34	0,30	6,5	8,2	3,5	14,3	11; 9; 7	572
4A112MA6У3	3,0	191	132	100	54	51	0,30	4,3	5,7	3,0	15,6	11; 9; 7	454
4A112MB6У3	4,0	191	132	125	54	51	0,30	4,3	5,7	3,0	15,6	11; 9; 7	504
4A112MA8У3	2,2	191	132	100	48	44	0,30	4,5	6,3	3,0	17,5	7; 5	416
4A112MB8У3	3,0	191	132	130	48	44	0,30	4,5	6,3	3,0	17,5	7; 5	476
4A132M2У3	11,0	225	130	130	24	19	0,60	10,2	13,4	4,0	16,5	11; 9	772
4A132S 4У3	7,5	225	145	115	36	34	0,35	6,1	9,2	3,5	17,8	11; 9; 7	596
4A132M4У3	11,0	225	145	160	36	34	0,35	6,1	9,2	3,5	17,8	11; 9; 7	686
4A132S 6У3	5,5	225	158	115	54	51	0,35	4,8	6,6	3,5	16,0	11; 9; 7	516
4A132M6У3	7,5	225	158	160	54	51	0,35	4,8	6,6	3,5	16,0	11; 9; 7	606
4A132S 8У3	4,0	225	158	115	48	44	0,35	4,8	7,1	3,5	17,6	7; 5	470
4A132M8У3	5,5	225	158	160	48	44	0,35	4,8	7,1	3,5	17,6	7; 5	560

Продолжение табл. 78

Обозначение	U=220; 380 В (Δ; Y)					U=380; 660 В (Δ; Y)				
	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
4АА50А2У3	0,27	0,44	450	1	82,5	—	—	—	—	—
4АА50В2У3	0,31	0,54	394	1	57,8	—	—	—	—	—
4АА50А4У3	0,27	0,49	635	1	91,1	—	—	—	—	—
4АА50В4У3	0,31	0,55	500	1	59,1	—	—	—	—	—
4АА56А2У3	0,29	0,40	166	1	54,9	—	—	—	—	—
4АА56В2У3	0,33	0,46	143	1	38,7	—	—	—	—	—
4АА56А4У3	0,29	0,50	254	1	70,6	—	—	—	—	—
4АА56В4У3	0,33	0,56	203	1	46,6	—	—	—	—	—
4АА63А2У3	0,38	0,55	126	1	26,2	—	—	—	—	—
4АА63В2У3	0,44	0,63	101	1	16,6	—	—	—	—	—
4АА63А4У3	0,38	0,61	169	1	29,0	—	—	—	—	—
4АА63В4У3	0,41	0,61	137	1	21,5	—	—	—	—	—
4АА63А6У3	0,33	0,62	170	1	52,0	—	—	—	—	—
4АА63В6У3	0,41	0,85	131	1	30,0	—	—	—	—	—
4А71А2У3	0,53	0,91	89	1	12,1	0,41	0,94	154	1	35,0
4А71В2У3	0,59	0,96	73	1	8,35	0,44	0,92	126	1	25,9
4А71А4У3	0,53	0,92	113	1	12,3	0,41	0,93	192	1	34,9
4А71В4У3	0,57	0,94	95	1	9,41	0,44	0,97	164	1	27,3
4А71А6У3	0,47	0,98	114	1	21,1	—	—	—	—	—
4А71В6У3	0,53	1,08	85	1	14,4	0,41	1,11	147	1	41,8
4А71В8У3	0,41	0,95	148	1	35,6	—	—	—	—	—
4А80А2У3	0,80	1,59	61	1	4,11	0,59	1,51	106	1	13,1
4А80В2У3	0,93	1,82	48	1	2,59	0,69	1,74	83	1	8,15
4А80А4У3	0,67	1,36	60	1	7,15	0,51	1,35	102	1	21,0

4A80B4У3	0,74	1,49	49	1	5,30	0,56	1,44	85	1	16,0
4A80A6У3	0,59	1,24	82	1	10,8	0,44	1,19	142	1	33,6
4A80B6У3	0,72	1,58	58	1	6,26	0,53	1,51	101	1	20,1
4A80A8У3	0,49	1,16	121	1	21,3	—	—	—	—	—
4A80B8У3	0,57	1,33	91	1	13,4	0,44	1,34	153	1	37,7
4A90L2У3	1,08	2,51	44	1	1,96	0,80	2,39	76	1	6,18
4A90L4У3	0,90	1,92	40	1	3,11	0,67	1,84	69	1	9,70
4A90L6У3	0,83	1,95	51	1	4,36	0,62	1,89	88	1	13,5
4A90LA8У3	0,67	1,58	74	1	8,32	0,51	1,60	128	1	24,8
4A90LB8У3	0,77	1,91	58	1	5,74	0,57	1,83	101	1	18,2
4A100S2У3	0,96	3,78	38×2	1	1,19	1,00	3,58	66	1	3,81
4A100L2У3	1,08	4,12	30×2	1	0,812	1,16	4,15	52	1	2,44
4A100S4У3	1,12	2,80	35	1	1,90	0,86	2,85	60	1	5,53
4A100L4У3	1,30	3,89	28	1	1,27	0,96	3,18	48	1	3,98
4A100L6У3	1,04	2,81	43	1	2,55	0,80	2,87	74	1	7,41
4A100L8У3	0,93	2,71	56	1	3,85	0,69	2,57	97	1	12,1
4A112M2У3	1,25	4,88	26×2	1	0,530	1,35	4,92	45	1	1,57
4A112M4У3	1,40	3,61	25	1	0,995	1,04	3,44	43	1	3,10
4A112MA6У3	1,12	3,09	28	1	2,07	0,86	3,12	48	1	6,03
4A112MB6У3	1,25	3,51	23	1	1,52	0,93	3,37	40	1	4,77
4A112MA8У3	1,04	3,03	39	1	2,73	0,80	3,08	67	1	7,92
4A112MB8У3	1,20	3,68	31	1	1,86	0,90	3,52	53	1	5,67
4A132M2У3	1,20	6,06	21×3	1	0,341	1,12	5,98	36×2	1	1,01
4A132S4У3	1,25	5,27	22×2	1	0,572	1,35	5,30	38	1	1,70
4A132M4У3	1,04	6,14	32×2	2	0,346	1,12	6,21	56	2	1,04
4A132S6У3	1,04	4,33	20×2	1	0,976	1,12	4,38	35	1	2,95
4A132M6У3	1,20	5,10	15×2	1	0,646	1,30	5,15	26	1	1,91
4A132S8У3	1,40	4,28	27	1	1,18	1,04	4,12	47	1	3,71
4A132M8У3	1,08	4,72	21×2	1	0,917	1,20	5,02	36	1	2,55

Таблица 79. Данные закрытых двигателей при высотах оси вращения 160—355 мм

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	z_1	z_2	δ, мм	b_1, мм	b_3, мм	b_3, мм	h_1, мм	y	$l_{ср}$, мм
4А160S2УЗ	15,0	272	155	110	36	28	0,80	8,7	11,9	4,0	20,0	12	760
4А160М2УЗ	18,5	272	155	130	36	28	0,80	8,7	11,9	4,0	20,0	12	820
4А160S4УЗ	15,0	272	185	140	48	38	0,50	7,3	9,9	3,7	20,5	11; 9	690
4А160М4УЗ	18,5	272	185	180	48	38	0,50	7,3	9,9	3,7	20,5	11; 9	770
4А160S6УЗ	11,0	272	197	145	54	50	0,45	6,1	8,2	3,7	18,8	11; 9; 7	670
4А160М6УЗ	15,0	272	197	200	54	50	0,45	6,1	8,2	3,7	18,8	11; 9; 7	780
4А160S8УЗ	7,5	272	197	145	48	44	0,45	6,8	9,2	3,7	19,1	7; 5	595
4А160М8УЗ	11,0	272	197	200	48	44	0,45	6,8	9,2	3,7	19,1	7; 5	705
4А180S2УЗ	22,0	313	171	110	36	28	1,00	9,2	12,9	4,0	24,7	11	740
4А180М2УЗ	30,0	313	171	145	36	28	1,00	9,2	12,9	4,0	24,7	12	860
4А180S4УЗ	22,0	313	211	145	48	38	0,60	8,2	11,0	3,7	24,0	11; 9; 7	720
4А180М4УЗ	30,0	313	211	185	48	38	0,60	8,2	11,0	3,7	24,0	11; 9; 7	800
4А180М6УЗ	18,5	313	220	145	72	58	0,50	5,0	7,2	3,7	26,5	11; 9; 7	660
4А180М8УЗ	15,0	313	220	170	72	58	0,50	5,0	7,2	3,7	26,5	7	635
4А200М2УЗ	37,0	349	194	130	36	28	0,90	10,5	14,9	4,0	28,2	11	860
4А200L2УЗ	45,0	349	194	160	36	28	0,90	10,5	14,9	4,0	28,2	11	920
4А200М4УЗ	37,0	349	238	170	48	38	0,70	9,4	12,3	3,7	24,5	10	850
4А200L4УЗ	45,0	349	238	215	48	38	0,70	9,4	12,3	3,7	24,5	10	940
4А200М6УЗ	22,0	349	250	160	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	10	710
4А200L6УЗ	30,0	349	250	185	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	10	760
4А200М8УЗ	18,5	349	250	160	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	7	625
4А200L8УЗ	22,0	349	250	185	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	7	675
4А225М2УЗ	55,0	392	208	180	36	28	1,00	10,5	15,0	4,0	29,2	11	1045
4А225М4УЗ	55,0	392	264	200	48	38	0,85	9,9	13,0	3,7	27,0	10	970

4A225M6У3	37,0	392	284	175	72	56	0,60	7,0	9,3	3,7	27,6	10	815
4A225M8У3	30,0	392	284	175	72	56	0,60	7,0	9,3	3,7	27,6	7	715
4A250S2У3	75,0	437	232	200	48	40	1,20	8,7	12,7	4,0	32,3	14	1110
4A250M2У3	90,0	437	232	230	48	40	1,20	8,7	12,7	4,0	32,3	14	1170
4A250S4У3	75,0	437	290	220	60	50	1,00	8,5	11,9	3,7	34,0	12	1060
4A250M4У3	90,0	437	290	260	60	50	1,00	8,5	11,9	3,7	34,0	12	1140
4A250S6У3	45,0	437	317	180	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	10	855
4A250M6У3	55,0	437	317	200	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	10	895
4A250S8У3	37,0	437	317	180	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	7	755
4A250M8У3	45,0	437	317	220	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	7	835
4A250S10У3	30,0	437	327	170	90	76	0,70	6,2	7,9	3,7	26,3	7	590
4A280S2У3	110,0	520	275	175	48	38	1,30	11,6	—	6,4	45,9	15	1500
4A280M2У3	132,0	520	275	205	48	38	1,30	11,6	—	6,4	45,9	15	1560
4A280S4У3	110,0	520	335	220	60	50	0,90	9,9	—	5,7	45,0	11	1310
4A280M4У3	132,0	520	335	240	60	50	0,90	9,9	—	5,7	45,0	11	1350
4A280S6У3	75,0	520	370	190	72	82	0,80	8,8	—	5,2	36,8	10	1120
4A280M6У3	90,0	520	370	225	72	82	0,80	8,8	—	5,2	36,8	10	1190
4A280S8У3	55,0	520	385	185	72	86	0,80	9,3	—	5,3	36,5	7	955
4A280M8У3	75,0	520	385	250	72	86	0,80	9,3	—	5,3	36,5	7	1085
4A280S10У3	37,0	520	400	170	90	106	0,70	8,1	10,6	4,0	38,0	10; 8; 6	790
4A280M10У3	45,0	520	400	180	90	106	0,70	8,1	10,6	4,0	38,0	10; 8; 6	810
4A315S2У3	160,0	520	275	270	48	38	1,30	11,6	—	6,4	45,9	15	1690
4A315M2У3	200,0	520	275	330	48	38	1,30	11,6	—	6,4	45,9	15	1810
4A315S4У3	160,0	520	335	290	60	50	0,90	9,9	—	5,7	45,0	11	1450
4A315M4У3	200,0	520	335	360	60	50	0,90	9,9	—	5,7	45,0	11	1590
4A315S6У3	110,0	520	370	275	72	82	0,80	8,8	—	5,2	36,8	10	1290
4A315M6У3	132,0	520	370	320	72	82	0,80	8,8	—	5,2	36,8	10	1380
4A315S8У3	90,0	520	385	335	72	86	0,80	9,3	—	5,3	36,5	7	1270
4A315M8У3	110,0	520	385	370	72	86	0,80	9,3	—	5,3	36,5	7	1340

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	z_1	z_2	δ, мм	b_1, мм	b_2, мм	b_3, мм	h_1, мм	y	$l_{ср}$, мм
4А315S10У3	55,0	520	410	250	90	106	0,70	8,1	10,6	4,0	38,0	9; 7; 5	980
4А315М10У3	75,0	520	410	305	90	106	0,70	8,1	10,6	4,0	38,0	9; 7; 5	1090
4А315S12У3	45,0	520	410	250	90	106	0,70	8,1	10,6	4,0	38,0	8; 6; 4;	885
4А315М12У3	55,0	520	410	305	90	106	0,70	8,1	10,6	4,0	38,0	7; 5	995
4А355S2У3	250,0	590	310	290	48	38	1,50	11,7	—	6,7	48,8	15	1810
4А355М2У3	315,0	590	310	360	48	38	1,50	11,7	—	6,7	48,8	14	1900
4А355S4У3	250,0	590	380	360	60	50	1,00	10,9	—	6,3	45,9	11	1640
4А355М4У3	315,0	590	380	470	60	50	1,00	10,9	—	6,3	45,9	13	1900
4А355S6У3	160,0	590	425	295	72	82	0,90	9,9	—	5,7	39,6	9	1320
4А355М6У3	200,0	590	425	370	72	82	0,90	9,9	—	5,7	39,6	9	1470
4А355S8У3	132,0	590	440	325	72	86	0,90	9,9	—	5,7	39,6	7	1270
4А355М8У3	160,0	590	440	375	72	86	0,90	9,9	—	5,7	39,6	7	1370
4А355М10У3	90,0	590	450	295	90	106	0,80	7,8	10,6	4,0	42,4	9; 7; 5	1095
4А355М10У3	110,0	590	450	355	90	106	0,80	7,8	10,6	4,0	42,4	10; 8; 6	1260
4А355S12У3	75,0	590	450	295	90	106	0,80	7,8	10,6	4,0	42,4	8; 6; 4;	1080
4А355М12У3	90,0	590	450	355	90	106	0,80	7,8	10,6	4,0	42,4	7; 5	1200

Обозначение	U=220/380 В					U=380/660 В				
	d; $a \times b$, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d; $a \times b$, мм	M, кг	n	a	r, Ом
4А160S2У3	1,18	9,72	(16+16) 2	2	0,298	1,32	9,53	28+28	2	0,833
4А160М2У3	1,32	10,0	(14+14) 2	2	0,226	1,40	9,63	24+24	2	0,685
4А160S4У3	1,25	9,92	27×2	2	0,270	1,32	9,63	47	2	0,847
4А160М4У3	1,40	11,30	22×2	2	0,197	1,18	10,40	19×3	1	0,637
4А160S6У3	1,18	8,22	46	3	0,503	1,06	7,83	27×2	1	1,650
4А160М6У3	1,32	9,22	34	3	0,346	1,25	9,33	20×2	1	1,020
4А160S8У3	1,32	7,22	41	2	0,637	1,00	7,23	71	2	1,920
4А160М8У3	1,06	8,41	30×2	2	0,428	1,18	8,53	52	2	1,200
4А180S2У3	1,25	12,5	(14+14) 3	2	0,151	1,18	12,7	(24+24) 2	2	0,435
4А180М2У3	1,50	14,8	(10+10) 3	2	0,0869	1,32	13,8	(18+18) 2	2	0,303
4А180S4У3*	1,25	13,2	23×3	2	0,161	1,12	12,3	40×2	2	0,522
4А180М4У3*	1,25	14,5	17×4	2	0,0989	1,32	13,8	29×2	2	0,303
40180М6У3	1,06; 1,12	11,9	30×2	3	0,249	1,18	12,0	52	3	0,736
4А180М8У3	1,25	11,7	23+23	4	0,318	1,32	11,3	20+20	2	0,993
4А200М2У3	1,50	19,7	(10+10) 4	2	0,0652	1,60	19,7	(17+18) 2	2	0,201
4А200L2У3	1,45	21,0	(8+9) 5	2	0,0507	1,40	20,7	(15+15) 3	2	0,160
4А200М4У3	1,56	18,0	(8+9) 3	2	0,0900	1,18	17,5	(14+15) 3	2	0,268
4А200L4У3	1,32	19,5	(7+7) 5	2	0,0687	1,32	20,1	(12+12) 3	2	0,196
4А200М6У3	1,25	16,1	(14+14) 2	3	0,193	1,12	14,6	(16+16) 2	2	0,618
4А200L6У3	1,40	16,8	(11+11) 2	3	0,129	1,50	16,6	19+19	3	0,389
4А200М8У3	1,40	13,8	(11+11) 2	2	0,239	1,50	13,6	19+19	2	0,720
4А200L8У3	1,50	14,5	19+19	4	0,195	1,12	14,1	33+33	4	0,606

Обозначение	U=220/380 В					U=380/660 В				
	d; a×b, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d; a×b, мм	M, кг	n	a	r, Ом
4А225М2У3	1,45	25,2	(7+8) 6	2	0,0424	1,56	25,3	(13+13) 3	2	0,127
4А225М4У3	1,40	25,3	(13+13) 3	4	0,0487	1,25	23,2	(22+23) 2	4	0,159
4А225М6У3	1,32	21,8	(10+10) 3	3	0,0945	1,18	20,9	(12+12) 3	2	0,319
4А225М8У3	1,50	19,7	(8+8) 3	2	0,116	1,40	19,3	27+27	4	0,336
4А250S2У3	1,56	33,1	(4+5) 8	2	0,0233	1,32	31,6	(8+8) 6	2	0,0772
4А250М2У3	1,56	34,9	(4+4) 9	2	0,0194	1,45	35,1	(7+7) 6	2	0,0590
4А250S4У3	1,56	39,6	(9+9) 4	4	0,0278	1,32	37,7	(16+16) 3	4	0,0930
4А250М4У3	1,45	40,8	(8+8) 5	4	0,0247	1,40	39,9	(14+14) 3	4	0,0771
4А250S6У3	1,50	26,5	(9+9) 3	3	0,0691	1,40	26,5	(15+16) 2	3	0,205
4А250М6У3	1,40	26,9	(7+8) 4	3	0,0519	1,56	28,9	(13+13) 2	3	0,145
4А250S8У3	1,40	22,7	(15+15) 2	4	0,0985	1,56	23,5	25+25	4	0,265
4А250М8У3	1,60	26,2	(12+12) 2	4	0,0667	1,18	24,9	(21+21) 2	4	0,215
4А250S10У3	1,45	19,7	(7+7) 3	2	0,319	1,32	20,2	(13+13) 2	2	0,447
4А280S2У3	2,00×4,00	81,6	(4+4) 4	2	0,0140	—	—	—	—	—
4А280М2У3	—	—	—	—	—	1,32×4,00	84,5	(6+6) 4	2	0,0330
4А280S4У3	1,00×3,55	78,3	(8+8) 4	4	0,0176	—	—	—	—	—
4А280М4У3	—	—	—	—	—	1,32×3,55	81,0	(12+12) 2	4	0,0405
4А280S6У3	1,80×3,00	54,0	(7+7) 2	3	0,0371	—	—	—	—	—
4А280М6У3	1,00×3,00	51,5	(11+12) 2	6	0,0295	—	—	—	—	—
4А280S8У3	1,00×3,35	48,4	(12+12) 2	4	0,0491	—	—	—	—	—
4А280М8У3	1,40×3,35	58,3	(9+9) 2	4	0,0293	—	—	—	—	—
4А280S10У3	1,32	41,5	(16+16) 3	5	0,0660	—	—	—	—	—
4А280М10У3	1,32	39,8	(15+15) 3	5	0,0634	—	—	—	—	—

4А315S2УЗ	—	—	—	—	—	1,60×4,00	92,9	(5+5) 4	2	0,0244
4А315М2УЗ	—	—	—	—	—	2,12×4,00	104,4	(4+4) 4	2	0,0159
4А315S4УЗ	—	—	—	—	—	1,60×3,55	88,0	(10+10) 2	4	0,0296
4А315М4УЗ	—	—	—	—	—	1,00×3,55	94,0	(8+8) 4	4	0,0223
4А315S6УЗ	1,25×3,00	57,6	(9+10) 2	6	0,0206	—	—	—	—	—
4А315М6УЗ	—	—	—	—	—	1,80×3,00	64,9	(7+7) 2	3	0,0455
4А315S8УЗ	1,80×3,35	64,6	(7+7) 2	4	0,0210	—	—	—	—	—
4А315М8УЗ	1,00×3,35	67,0	(6+6) 4	4	0,0172	—	—	—	—	—
4А315S10УЗ	1,60	52,2	(11+11) 3	5	0,0383	—	—	—	—	—
4А315М10УЗ	1,50	55,5	(9+9) 4	5	0,0297	—	—	—	—	—
4А315S12УЗ	1,60	45,4	(8+8) 4	3	0,0524	—	—	—	—	—
4А315М12УЗ	1‘25	51,0	(13+13) 4	6	0,0392	—	—	—	—	—
4А355S2УЗ	—	—	—	—	—	2,24×4,50	125,0	(4+4) 4	2	0,0133
4А355М2УЗ	—	—	—	—	—	1,70×4,50	129,0	(3+4) 6	2	0,0109
4А355S4УЗ	—	—	—	—	—	1,18×4,00	115,0	(7+7) 4	4	0,0142
4А355М4УЗ	—	—	—	—	—	1,50×4,00	135,0	(5+6) 4	4	0,0101
4А355S6УЗ	—	—	—	—	—	2,00×3,55	83,0	(7+7) 2	3	0,0327
4А355М6УЗ	—	—	—	—	—	1,25×3,55	91,0	(11+11) 2	6	0,0228
4А355S8УЗ	—	—	—	—	—	1,25×3,55	76,0	(10+11) 2	4	0,0424
4А355М8УЗ	—	—	—	—	—	1,60×3,55	89,5	(9+9) 2	4	0,0303
4А355S10УЗ	1,60	66,0	(9+9) 4	5	0,0262	—	—	—	—	—
4А355М10УЗ	1,60	73,0	(7+7) 5	5	0,0188	—	—	—	—	—
4А355S12УЗ	1,70	63,3	(11+11) 3	6	0,0260	—	—	—	—	—
4А355М12УЗ	1,60	71,3	(9+9) 4	6	0,0200	—	—	—	—	—

* Обмотка одно-двухслойная концентрическая (для 4А180М6УЗ ярусная). Указано число проводников в пазу, занимаемом большой катушкой.

Примечания: 1. Двигатели 4А160S8УЗ изготовляют с тремя выводами на напряжения 220; 380 В (соединения фаз треугольник; звезда) и 380; 660 В (соединения фаз треугольник; звезда). 2. При укладке разновитковые катушки чередовать через одну, если шаг нечетный, и попарно, если шаг четный. Например, при $n=(17+18)2$ и $y=11$ последовательность укладки будет 17, 18, 17, 18,..., а при $n=(8+9)3$ и $y=10$—8, 8, 9, 9,...

Таблица 80. Данные защищенных двигателей при высотах оси вращения 160—315 мм

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	z_1	z_2	δ, мм	b_1, мм	b_2, мм	b_3, мм	h_1, мм	y	$l_{ср}$, мм
4АН160S2У3	22,0	272	155	110	36	28	0,80	8,7	11,9	4,0	20,0	12	760
4АН160М2У3	30,0	272	155	150	36	28	0,80	8,7	11,9	4,0	20,0	12	840
4АН160S4У3	18,5	272	185	140	48	41	0,50	7,3	9,9	3,7	20,5	11; 9	690
4АН160М4У3	22,0	272	185	180	48	41	0,50	7,3	9,9	3,7	20,5	11; 9	770
4АН180S2У3	37,0	313	171	145	36	28	1,00	9,2	12,9	4,0	24,7	11	810
4АН180М2У3	45,0	313	171	170	36	28	1,00	9,2	12,9	4,0	24,7	11	860
4АН180S4У3*	30,0	313	211	145	48	38	0,60	8,2	11,0	3,7	24,0	11; 9; 7	720
4АН180М4У3*	37,0	313	211	185	48	38	0,60	8,2	11,0	3,7	24,0	11; 9; 7	800
4АН180S6У3	18,5	313	220	130	72	58	0,45	5,0	7,2	3,7	26,5	10	620
4АН180М6У3	22,0	313	220	170	72	58	0,45	5,0	7,2	3,7	26,5	10	700
4АН180S8У3	15,0	313	220	170	72	58	0,45	5,0	7,2	3,7	26,5	7	635
4АН180М8У3	18,5	313	220	220	72	58	0,45	5,0	7,2	3,7	26,5	7	735
4АН200М2У3	55,0	349	194	160	36	28	0,90	10,9	14,9	4,0	28,2	11	920
4АН200L2У3	75,0	349	194	200	36	28	0,90	10,5	14,9	4,0	28,2	11	1000
4АН200М4У3	45,0	349	238	170	48	38	0,70	9,4	12,3	3,7	24,5	10	850
4АН200L4У3	55,0	349	238	215	48	38	0,70	9,4	12,3	3,7	24,5	10	940
4АН200М6У3	30,0	349	250	160	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	10	710
4АН200L6У3	37,0	349	250	215	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	10	820
4АН200М8У3	22,0	349	250	185	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	7	675
4АН200L8У3	30,0	349	250	260	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	7	825
4АН225М2У3	90,0	392	208	180	36	28	1,00	10,5	15,0	4,0	29,2	11	1045
4АН225М4У3	75,0	392	264	200	48	38	0,85	9,9	13,0	3,7	27,0	10	970
4АН225М6У3	45,0	392	284	175	72	56	0,60	7,0	9,3	3,7	27,6	10	815
4АН225М8У3	37,0	392	284	210	72	56	0,60	7,0	9,3	3,7	27,6	7	785
4АН250S2У3	110,0	437	232	200	48	40	1,20	8,7	12,7	4,0	32,3	14	1110

4АН250М2У3	132,0	437	232	230	48	40	1,20	8,7	12,7	4,0	32,3	14	1170
4АН250S4У3	90,0	437	290	200	60	50	1,00	8,5	11,9	3,7	34,0	12	1020
4АН250М4У3	110,0	437	290	220	60	50	1,00	8,5	11,9	3,7	34,0	12	1060
4АН250S6У3	55,0	437	317	180	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	10	855
4АН250М6У3	75,0	437	317	240	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	10	975
4АН250S8У3	45,0	437	317	200	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	7	795
4АН250М8У3	55,0	437	317	240	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	7	875
4АН280S2У3	160	520	275	185	48	38	1,30	10,9	—	6,4	44,4	14	1380
4АН280М2У3	200	520	275	230	48	38	1,30	10,9	—	6,4	44,4	13	1430
4АН280S4У3	132	520	335	205	60	50	0,90	9,7	—	5,7	41,5	11	1270
4АН280М4У3	160	520	335	235	60	50	0,90	9,7	—	5,7	41,5	11	1330
4АН280S6У3	90,0	520	370	200	72	82	0,80	8,7	—	5,2	37,3	9	1075
4АН280М6У3	110	520	370	230	72	82	0,80	8,7	—	5,2	37,3	10	1190
4АН280S8У3	75,0	520	385	240	72	86	0,80	8,9	—	5,3	37,5	8	1120
4АН280М8У3	90,0	520	385	270	72	86	0,80	8,9	—	5,3	37,5	8	1180
4АН280S10У3	45,0	520	400	200	90	106	0,70	8,1	10,6	4,0	38,0	10; 8; 6	810
4АН280М10У3	55,0	520	400	235	90	106	0,70	8,1	10,6	4,0	38,0	10; 8; 6	880
4АН315М2У3	250	590	310	210	48	38	1,50	11,5	—	6,7	47,3	14	1530
4АН315S4У3	200	590	380	210	60	50	1,00	9,7	—	5,7	44,4	12	1360
4АН315М4У3	250	590	380	250	60	50	1,00	9,7	—	5,7	44,4	11	1380
4АН315S6У3	132	590	425	215	72	82	0,90	9,7	—	5,7	38,9	9	1160
4АН315М6У3	160	590	425	260	72	82	0,90	9,7	—	5,7	38,9	9	1250
4АН315S8У3	110	590	440	255	72	86	0,90	9,7	—	5,7	38,9	7	1130
4АН315М8У3	132	590	440	295	72	86	0,90	9,7	—	5,7	38,9	7	1210
4АН315S10У3	75,0	590	450	230	90	106	0,80	7,8	10,7	4,0	42,5	9; 7; 5	865
4АН315М10У3	90,0	590	450	270	90	106	0,80	7,8	10,7	4,0	42,5	9; 7; 5	945
4АН315S12У3	55,0	590	450	230	90	106	0,80	7,8	10,7	4,0	42,5	8; 6; 4;	860
4АН315М12У3	75,0	590	450	270	90	106	0,80	7,8	10,7	4,0	42,5	7; 5	940
4АН355S2У3	315	660	345	210	48	38	1,80	12,1	—	6,8	46,5	15	1610
4АН355М2У3	400	660	345	265	48	38	1,80	12,1	—	6,8	46,5	14	1680

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	z_1	z_2	δ, мм	b_1, мм	b_2, мм	b_3, мм	h_1, мм	y	$l_{ср}$, мм
4АН355S4УЗ	315	660	435	235	60	50	1,20	10,7	—	6,0	44,1	11	1410
4АН355М4УЗ	400	660	435	305	60	50	1,20	10,7	—	6,0	44,1	11	1550
4АН355S6УЗ	200	660	470	220	72	82	1,00	9,7	—	5,7	43,6	9	1195
4АН355М6УЗ	250	660	470	275	72	82	1,00	9,7	—	5,7	43,6	9	1305
4АН355S8УЗ	160	660	490	265	72	86	1,00	10,7	—	6,0	40,7	7	1180
4АН355М8УЗ	200	660	490	345	72	86	1,00	10,7	—	6,0	40,7	7	1340
4АН355S10УЗ	110	660	500	235	90	106	0,90	9,2	—	5,3	42,7	7	1075
4АН355М10УЗ	132	660	500	270	90	106	0,90	9,2	—	5,3	42,7	7	1145
4АН355S12УЗ	90,0	660	500	235	90	106	0,90	9,2	—	5,3	42,7	6	1010
4АН355М12УЗ	110	660	500	270	90	106	0,90	9,2	—	5,3	42,7	6	1080

Обозначение	U = 220/380 В					U = 380/660 В				
	d; $a \times b$, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d; $a \times b$, мм	M, кг	n	a	r, Ом
4АН160S2УЗ	1,32	9,52	(14+14)2	2	0,208	1,40	9,14	24+24	2	0,635
4АН160М2УЗ	1,18	9,94	(11+11)3	2	0,151	1,12	10,2	(19+19)2	2	0,434
4АН160S4УЗ	1,25	9,64	26×2	2	0,261	1,32	9,23	45	2	0,810
4АН160М4УЗ	1,12	10,4	21×3	2	0,195	1,06	10,6	36×2	2	0,561
4АН180S2УЗ	1,50	14,0	(10+10)3	2	0,0818	1,32	13,0	(18+18)2	2	0,285
4АН180М2УЗ	1,18	13,8	(9+9)5	2	0,0758	1,00	14,0	(16+16)4	2	0,235
4АН180S4УЗ*	1,12	12,9	21×4	2	0,137	1,18	12,3	36×2	2	0,423
4АН180М4УЗ*	1,25	14,5	17×4	2	0,0989	1,06	13,8	30×3	2	0,325
4АН180S6УЗ	1,50	11,4	16+16	3	0,267	1,40	11,5	19+18	2	0,798

4АН180М6У3	1,18	12,9	(13+13)2	3	0,198	1,06; 1,12	13,0	(15+15)2	2	0,588
4АН180S8У3	1,25	11,7	23+23	4	0,318	1,32	11,3	20+20	2	0,993
4АН180М8У3	1,40	14,0	19+19	4	0,243	1,50	13,5	16+16	2	0,712
4АН200М2У3	1,25	20,6	(8+8)7	2	0,0459	1,25	19,8	(13+14)4	2	0,136
4АН200L2У3	1,50	22,4	(6+7)6	2	0,0328	1,40	22,1	(11+11)4	2	0,0957
4АН200М4У3	1,40	18,2	(8+8)4	2	0,0789	1,25	18,3	(13+14)3	2	0,223
4АН200L4У3	1,40	20,4	(6+7)5	2	0,0567	1,18	19,6	(11+11)4	2	0,169
4АН200М6У3	1,32	15,2	(12+12)2	3	0,148	1,45	15,6	21+21	3	0,430
4АН200L6У3	1,25	18,1	(9+9)3	3	0,0955	1,18	18,1	(15+16)2	3	0,277
4АН200М8У3	1,18	14,4	(10+10)3	2	0,220	1,12	14,7	(17+17)2	2	0,624
4АН200L8У3	1,25	17,1	(13+13)2	4	0,117	1,40	19,0	23+23	4	0,330
4АН225М2У3	1,50	24,7	(6+6)7	2	0,0265	1,32	22,7	(10+10)5	2	0,0799
4АН225М4У3	1,45	25,0	(6+6)6	2	0,0420	1,56	24,1	(10+10)3	2	0,121
4АН225М6У3	1,32	20,7	(9+10)3	3	0,0898	1,25	21,5	(11+11)3	2	0,261
4АН225М8У3	1,60	21,6	(7+7)3	2	0,0976	1,50	21,6	24+24	4	0,286
4АН250S2У3	1,56	33,1	(4+4)9	2	0,0184	1,45	33,4	(7+7)6	2	0,0560
4АН250М2У3	—	—	—	—	—	1,50	35,0	(6+7)6	2	0,0512
4АН250S4У3	1,56	38,0	(9+9)4	4	0,0268	1,32	36,3	(16+16)3	4	0,0887
4АН250М4У3	1,45	37,9	(8+8)5	4	0,0216	1,45	39,8	(14+14)3	4	0,0631
4АН250S6У3	1,60	26,8	(8+8)3	3	0,0540	1,50	27,5	(14+14)2	3	0,162
4АН250М6У3	1,60	30,6	(6+6)4	3	0,0346	1,40	30,8	(10+11)3	3	0,105
4АН250S8У3	1,56	25,7	(13+13)2	4	0,0724	1,18	24,9	(22+22)2	4	0,215
4АН250М8У3	1,40; 1,32**	26,7	(11+11)3	4	0,0600	1,25	26,5	(19+19)2	4	0,182
4АН280S2У3	—	—	—	—	—	1,18×4,00	69,0	(6+7)4	2	0,0356
4АН280М2У3	—	—	—	—	—	1,40×4,00	72,5	(5+6)4	2	0,0261
4АН280S4У3	—	—	—	—	—	1,06×3,55	62,5	(13+13)2	4	0,0519
4АН280М4У3	—	—	—	—	—	1,32×3,55	69,8	(11+11)2	4	0,0365
4АН280S6У3	2,00×3,00	52,6	(6+7)2	3	0,0256	1,80×3,00	52,0	(7+8)2	2	0,0857
4АН280М6У3	1,12×3,00	53,8	(11+11)2	6	0,0248	2,00×3,00	55,9	(6+7)2	2	0,0735
4АН280S8У3	1,40×3,15	55,2	(9+9)2	4	0,0322	1,60×3,15	55,4	(8+8)2	2	0,0995

Обозначение	U = 220/380 В					U = 380/660 В				
	d; a×b, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d; a×b, мм	M, кг	n	a	r, Ом
4АН280М8У3	1,60×3,15	59,4	(8+8)2	4	0,0263	1,90×3,15	59,5	(7+7)2	2	0,0787
4АН280S10У3	1,32	42,5	(6+6)8	2	0,0595	1,25	40,8	(10+10)5	2	0,177
4АН280М10У3	1,40	43,5	(5+5)8	2	0,0478	1,25	46,7	(9+9)6	2	0,144
4АН315М2У3	—	—	—	—	—	1,70×4,50	96,5	(5+5)4	2	0,0188
4АН315S4У3	—	—	—	—	—	1,60×3,55	79,2	(10+10)2	4	0,0277
4АН315М4У3	—	—	—	—	—	1,80×3,55	80,0	(9+9)2	4	0,0230
4АН315S6У3	—	—	—	—	—	1,50×3,55	69,4	(9+9)2	3	0,0487
4АН315М6У3	—	—	—	—	—	1,70×3,55	69,8	(7+8)2	3	0,0394
4АН315S8У3	1,70×3,55	65,8	(8+8)2	4	0,0214	1,90×3,55	65,7	(7+7)2	2	0,0663
4АН315М8У3	—	—	—	—	—	1,06×3,55	66,0	(12+12)2	4	0,0548
4АН315S10У3	1,40	52,1	(12+12)4	5	0,0361	1,50	44,9	(8+8)5	2	0,117
4АН315М10У3	1,50	54,5	(10+10)4	5	0,0287	1,32	55,2	(17+17)3	5	0,0816
4АН315S12У3	1,32	51,8	(18+18)3	6	0,0562	1,50	45,7	(10+10)4	2	0,182
4АН315М12У3	1,50	53,0	(13+13)3	6	0,0342	1,40	50,2	(11+11)4	3	0,104
4АН355S2У3	—	—	—	—	—	2,0×4,75	101,0	(4+4)4	2	0,0126
4АН355М2У3	—	—	—	—	—	1,60×4,75	112,0	(3+4)6	2	0,00950
4АН355S4У3	—	—	—	—	—	2,00×4,00	92,0	(8+8)2	4	0,0164
4АН355М4У3	—	—	—	—	—	1,18×4,00	97,0	(6+7)4	4	0,0125
4АН355S6У3	—	—	—	—	—	1,00×3,55	76,7	(15+15)2	6	0,0320
4АН355М6У3	—	—	—	—	—	1,25×3,55	84,8	(12+12)2	6	0,0220
4АН355S8У3	—	—	—	—	—	1,25×4,00	80,0	(11+11)2	4	0,0364
4АН355М8У3	—	—	—	—	—	1,60×4,00	95,5	(9+9)2	4	0,0261
4АН355S10У3	1,60×3,15	75,8	(9+9)2	5	0,0215	1,25×3,15	77,9	(6+6)4	2	0,0581
4АН355М10У3	—	—	—	—	—	1,06×3,15	78,5	(13+14)2	5	0,0530

4АН355S12УЗ	1,25×3,15	73,5	(12+12)2	6	0,0243	1,06×3,15	71,7	(7+7)4	2	0,0757
4АН355М12УЗ	1,50×3,15	79,0	(10+10)2	6	0,0179	1,25×3,15	78,3	(12+12)2	4	0,0582

* Обмотка одно-двухслойная концентрическая. Указано число проводников в пазу, занимаемом большой катушкой.
** Катушка выполняется из двух проводов с ⌀ 1,32 мм и одного провода с ⌀ 1,40 мм.

Примечание. Длины сердечников двигателей 4АН355М4УЗ и 4АН355М8УЗ указаны с учетом одного радиального канала; ширина канала 10 мм.

Таблица 81. Данные двигателей с повышенным пусковым моментом

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	z_1	z_2	δ, мм	b_1, мм	b_2, мм	$b_{ш}$, мм	h_1, мм	y	$l_{ср}$, мм
4АР160S4УЗ	15,0	272	185	140	48	38	0,50	7,3	9,9	3,7	20,5	11; 9	690
4АР160М4УЗ	18,5	272	185	180	48	38	0,50	7,3	9,9	3,7	20,5	11; 9	770
4АР160S6УЗ	11,0	272	197	145	54	50	0,45	6,1	8,2	3,7	18,8	11; 9; 7	670
4АР160М6УЗ	15,0	272	197	200	54	50	0,45	6,1	8,2	3,7	18,8	11; 9; 7	780
4АР160S8УЗ	7,5	272	197	145	48	44	0,45	6,8	9,2	3,7	19,1	7; 5	595
4АР160М8УЗ	11,0	272	197	200	48	44	0,45	6,8	9,2	3,7	19,1	7; 5	705
4АР180S4УЗ	22,0	313	211	145	48	38	0,60	8,2	11,0	3,7	24,0	11; 9; 7	720
4АР180М4УЗ	30,0	313	211	185	48	38	0,60	8,2	11,0	3,7	24,0	11; 9; 7	800
4АР180М6УЗ	18,5	313	220	145	72	58	0,50	5,0	7,2	3,7	26,5	10	650
4АР180М8УЗ	15,0	313	220	170	72	58	0,50	5,0	7,2	3,7	26,5	7	634
4АР200М4УЗ	37,0	349	238	170	48	38	0,70	9,4	12,3	3,7	24,5	10	850
4АР200L4УЗ	45,0	349	238	215	48	38	0,70	9,4	12,3	3,7	24,5	10	940
4АР200М6УЗ	22,0	349	250	160	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	10	712
4АР200L6УЗ	30,0	349	250	185	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	10	760
4АР200М8УЗ	18,5	349	250	160	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	7	650

Продолжение табл. 81

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	z_1	z_2	δ, мм	b_1, мм	b_2, мм	b_3, мм	h_1, мм	y	$l_{ср}$, мм
4АР200L8У3	22,0	349	250	185	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	7	675
4АР225М4У3	55,0	392	264	200	48	38	0,85	9,9	13,0	3,7	27,0	10	970
4АР225М6У3	37,0	392	284	175	72	56	0,60	7,0	9,3	3,7	27,6	10	815
4АР225М8У3	30,0	392	284	175	72	56	0,60	7,0	9,3	3,7	27,6	7	715
4АР250S4У3	75,0	437	290	220	60	50	1,00	8,5	11,9	3,7	34,0	12	1060
4АР250М4У3	90,0	437	290	260	60	50	1,00	8,5	11,9	3,7	34,0	12	1140
4АР250S6У3	45,0	437	317	180	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	10	855
4АР250М6У3	55,0	437	317	200	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	10	895
4АР250S8У3	37,0	437	317	180	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	7	755
4АР250М8У3	45,0	437	317	220	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	7	835

Продолжение табл. 81

Обозначение	U = 220/380 В					U = 380/660 В				
	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
4АР160S4У3	1,25	9,62	26×2	2	0,261	1,32	9,21	45	2	0,810
4АР160М4У3	1,12	10,4	21×3	2	0,195	1,06	10,6	36×2	2	0,561
4АР160S6У3	1,18	7,72	43	3	0,470	1,12	8,13	25×2	1	1,37
4АР160М6У3	1,40	9,42	32	3	0,290	1,32	9,43	18×2	1	0,825
4АР160S8У3	1,32	7,13	40	2	0,621	1,00	7,05	69	2	1,87
4АР160М8У3	1,12	8,73	29×2	2	0,370	1,18	8,44	50	2	1,15
4АР180S4У3*	1,12	12,9	21×4	2	0,137	1,18	12,3	36×2	2	0,424
4АР180М4У3*	1,12	13,7	16×5	2	4,0928	1,12	14,3	28×3	2	0,271
4АР180М6У3	1,00	12,0	(9+9)4	2	0,200	1,06	11,6	(15+16)2	2	0,612

4АР180М8У3	1,40; 1,18	12,0	(11+11)2	2	0,284	1,40	12,1	19+19	2	0,838
4АР200М4У3	1,40	18,2	(8+8)4	2	0,0789	1,50	18,2	(14+14)2	2	0,241
4АР200L4У3	1,40	20,4	(6+7)5	2	0,0567	1,18	19,2	(11+11)4	2	0,169
4АР200М6У3	1,32	15,2	(12+12)2	3	0,148	1,45	16,0	21+21	3	0,430
4АР200L6У3	1,18	16,7	(10+10)3	3	0,110	1,12	16,5	(17+17)2	3	0,312
4АР200М8У3	1,18	13,3	(10+10)3	2	0,204	1,12	13,6	(17+17)2	2	0,5
4АР200L8У3	1,25	14,5	(9+9)3	2	0,177	1,18	14,4	(15+15)2	2	0,496
4АР225М4У3	1,45	25,0	(12+12)3	4	0,0420	1,32	24,2	(21+21)2	4	0,133
4АР225М6У3	1,32	21,8	(6+6)5	2	0,0766	1,32	21,8	(10+10)3	2	0,213
4АР225М8У3	1,50	19,7	(8+8)3	2	0,116	1,40	19,3	27+27	4	0,336
4АР250S4У3	1,45	37,9	(8+8)5	4	0,0229	1,45	39,8	(14+14)3	4	0,0670
4АР250М4У3	1,56	41,3	(7+7)5	4	0,0186	1,56	42,5	(12+12)3	4	0,0532
4АР250S6У3	1,60	26,8	(8+8)3	3	0,0540	1,50	27,5	(14+14)2	3	0,161
4АР250М6У3	1,45	26,9	(7+7)4	3	0,0452	1,60	28,1	(12+12)2	3	0,127
4АР250S8У3	1,56	24,4	(13+13)2	4	0,0688	1,18	23,6	(22+22)2	4	0,203
4АР250М8У3	1,40**; 1,32	25,5	(11+11)3	4	0,058	1,25	25,3	(19+19)2	4	0,174

* Обмотка одно-двухслойная концентрическая. Указано число проводников в пазу, занимаемом большой катушкой.

** Катушка выполняется из двух проводов с ⌀ 1,32 мм и одного провода с ⌀ 1,40 мм.

Примечания: 1. Двигатели мощностью 11 кВт и менее изготовляют с тремя выводами на напряжения 220; 380 В (соединения фаз «треугольник»; «звезда») и 380;660 В (соединения фаз «треугольник»; «звезда»). 2. При укладке катушки с разными числами витков чередовать 15, 15, 16, 16,...; 6, 6, 7, 7,...

Таблица 82. Данные двигателей с повышенным скольжением

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	z_1	z_2	δ, мм	b_1, мм	b_2, мм	b_3, мм	h_1, мм	y	$l_{ср}$, мм
4АС71А2У3	1,0	116	65	65	24	20	0,35	5,9	7,5	2,0	9,3	11; 9	420
4АС71В2У3	1,2	116	65	74	24	20	0,35	5,9	7,5	2,0	9,3	11; 9	438
4АС71А4У3	0,60	116	70	65	24	17	0,25	5,2	7,3	2,0	11,6	7; 5	336
4АС71В4У3	0,80	116	70	74	24	17	0,25	5,2	7,3	2,0	11,6	7; 5	354
4АС71А6У3	0,40	116	76	65	36	28	0,25	3,9	5,5	2,0	12,2	7; 5	300
4АС71В6У3	0,63	116	76	90	36	28	0,25	3,9	5,5	2,0	12,2	7; 5	350
4АС71В8У3	0,30	116	76	74	36	28	0,20	3,9	5,5	2,0	12,2	5; 3	296
4АС80А2У3	1,90	131	74	78	24	20	0,35	6,8	8,5	3,0	11,6	11; 9	474
4АС80В2У3	2,50	131	74	98	24	20	0,35	6,8	8,5	3,0	11,6	11; 9	514
4АС80А4У3	1,30	131	84	78	36	28	0,25	4,4	6,0	2,5	12,1	11; 9; 7	392
4АС80В4У3	1,70	131	84	98	36	28	0,25	4,4	6,0	2,5	12,1	11; 9; 7	432
4АС80А6У3	0,80	131	88	78	36	28	0,25	4,3	6,0	2,5	13,0	7; 5	336
4АС80В6У3	1,20	131	88	115	36	28	0,25	4,3	6,0	2,5	13,0	7; 5	410
4АС80А8У3	0,45	131	88	78	36	28	0,25	4,3	6,0	2,5	13,0	5; 3; 5	310
4АС80В8У3	0,60	131	88	98	36	28	0,25	4,3	6,0	2,5	13,0	5; 3; 5	350
4АС90L2У3	3,5	149	84	100	24	20	0,40	8,1	10,1	3,2	12,6	11; 9	572
4АС90L4У3	2,4	149	95	100	36	28	0,25	4,8	6,5	3,0	12,9	11; 9; 7	462
4АС90L6У3	1,7	149	100	110	36	28	0,25	4,7	6,6	2,7	13,8	7; 5	432
4АС90LА8У3	0,9	149	100	100	36	28	0,25	4,7	6,6	2,7	13,8	5; 3; 5	370
4АС90LВ8У3	1,2	149	100	130	36	28	0,25	4,7	6,6	2,7	13,8	5; 3; 5	430
4АС100S2У3	4,8	168	95	100	24	20	0,45	9,1	11,3	3,5	14,1	11; 9	634
4АС100L2У3	6,3	168	95	130	24	20	0,45	9,1	11,3	3,5	14,1	11; 9	694
4АС100S4У3	3,2	168	105	100	36	28	0,30	4,9	7,1	3,0	15,8	11; 9; 7	500

4АС100L4У3	4,25	168	105	130	36	28	0,30	4,9	7,1	3,0	15,8	11; 9; 7	530
4АС100L6У3	2,6	168	113	120	36	28	0,30	5,4	7,5	3,0	15,4	7; 5	470
4АС100L8У3	1,6	168	113	120	36	28	0,30	5,4	7,5	3,0	15,4	5; 3; 5	436
4АС112М2У3	8,0	191	110	125	24	22	0,60	10,5	12,6	3,5	15,1	11; 9	709
4АС112М4У3	5,6	191	126	125	36	34	0,30	6,5	8,2	3,5	14,3	11; 9; 7	572
4АС112МА6У3	3,2	191	132	100	54	51	0,30	4,3	5,7	3,0	15,6	11; 9; 7	454
4АС112МВ6У3	4,2	191	132	125	54	51	0,30	4,3	5,7	3,0	15,6	11; 9; 7	504
4АС112МА8У3	2,2	191	132	100	48	44	0,30	4,5	6,3	3,0	17,5	7; 5	416
4АС112МВ8У3	3,2	191	132	130	48	44	0,30	4,5	6,3	3,0	17,5	7; 5	476
4АС132М2У3	11,0	225	130	130	24	19	0,60	10,2	13,4	4,0	16,5	11; 9	772
4АС132S4У3	8,5	225	145	115	36	34	0,35	6,1	9,2	3,5	17,8	11; 9; 7	596
4АС132М4У3	11,8	225	145	160	36	34	0,35	6,1	9,2	3,5	17,8	11; 9; 7	686
4АС132S6У3	6,3	225	158	115	54	51	0,35	4,8	6,6	3,5	16,0	11; 9; 7	516
4АС132М6У3	8,5	225	158	160	54	51	0,35	4,8	6,6	3,5	16,0	11; 9; 7	606
4АС132S8У3	4,5	225	158	115	48	44	0,35	4,8	7,1	3,5	17,6	7; 5	470
4АС132М8У3	6,0	225	158	160	48	44	0,35	4,8	7,1	3,5	17,6	7; 5	560
4АС160S4У3	17,0	272	185	140	48	38	0,50	7,3	9,9	3,7	20,5	11; 9	690
4АС160М4У3	20,0	272	185	180	48	38	0,50	7,3	9,9	3,7	20,5	11; 9	770
4АС160S6У3	12,0	272	197	145	54	50	0,45	6,1	8,2	3,7	18,8	11; 9; 7	670
4АС160М6У3	16,0	272	197	200	54	50	0,45	6,1	8,2	3,7	18,8	11; 9; 7	780
4АС160S8У3	9,0	272	197	145	48	44	0,45	6,8	9,2	3,7	19,1	7; 5	595
4АС160М8У3	12,5	272	197	200	48	44	0,45	6,8	9,2	3,7	19,1	7; 5	705
4АС180S4У3	21,0	313	211	145	48	38	0,60	8,2	11,0	3,7	24,0	11; 9; 7	720
4АС180М4У3	26,5	313	211	185	48	38	0,60	8,2	11,0	3,7	24,0	11; 9; 7	800
4АС180М6У3	19,0	313	220	145	72	58	0,50	5,0	7,2	3,7	26,5	10	650
4АС180М8У3	15,0	313	220	170	72	58	0,50	5,0	7,2	3,7	26,5	7	634

Продолжение табл. 82

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	z_1	z_2	δ, мм	b_1, мм	b_2, мм	b_3, мм	h_1, мм	y	$l_{ср}$, мм
4АС200М4У3	31,5	349	238	170	48	38	0,70	9,4	12,3	3,7	24,5	10	850
4АС200L4У3	40,0	349	238	215	48	38	0,70	9,4	12,3	3,7	24,5	10	940
4АС200М6У3	22,0	349	250	160	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	10	710
4АС200L6У3	28,0	349	250	185	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	10	760
4АС200М8У3	20,0	349	250	160	72	58	0,50	6,2	8,4	3,7	25,7	7	625
4АС225М4У3	50,0	392	264	200	48	38	0,85	9,9	13,0	3,7	27,0	10	970
4АС225М6У3	33,5	392	284	175	72	56	0,60	7,0	9,3	3,7	27,6	10	815
4АС225М8У3	26,5	392	284	175	72	56	0,60	7,0	9,3	3,7	27,6	7	715
4АС250S4У3	56,0	437	290	220	60	50	1,00	8,5	11,9	3,7	34,0	12	1060
4АС250М4У3	63,0	437	290	260	60	50	1,00	8,5	11,9	3,7	34,0	12	1140
4АС250S6У3	40,0	437	317	180	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	10	855
4АС250М6У3	45,0	437	317	200	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	10	895
4АС250S8У3	36,0	437	317	180	72	56	0,70	7,7	10,0	3,7	28,6	7	755

Продолжение табл. 82

Обозначение	$U = 220$; 380 В					$U = 380$; 660 В				
	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
4АС71А2У3	0,57	0,91	77	1	9,05	0,44	0,93	133	1	26,2
4АС71В2У3	0,62	0,99	64	1	6,63	0,49	1,01	111	1	18,4
4АС71А4У3	0,53	0,92	113	1	12,3	0,41	0,93	192	1	34,9
4АС71В4У3	0,57	0,94	95	1	9,41	0,44	0,97	164	1	27,3
4АС71А6У3	0,47	0,98	114	1	21,1	—	—	—	—	—
4АС71В6У3	0,55	1,09	80	1	12,6	0,41	1,04	138	1	39,2
4АС71В8У3	0,44	0,92	125	1	26,1	—	—	—	—	—

4АС80А2УЗ	0,83	1,62	58	1	3,63	0,62	1,58	101	1	11,3
4АС80В2УЗ	0,93	1,75	46	1	2,49	0,69	1,69	80	1	7,85
4АС80А4УЗ	0,69	1,35	56	1	6,29	0,51	1,29	97	1	19,9
4АС80В4УЗ	0,77	1,49	45	1	4,47	0,59	1,52	78	1	13,2
4АС80А6УЗ	0,62	1,23	74	1	8,82	0,47	1,22	128	1	26,6
4АС80В6УЗ	0,74	1,59	55	1	5,62	0,55	1,54	96	1	17,8
4АС80А8УЗ	0,53	1,16	103	1	15,5	—	—	—	—	—
4АС80В8УЗ	0,59	1,34	85	1	11,7	0,44	1,30	148	1	36,5
4АС90L2УЗ	1,12	2,50	41	1	1,70	0,83	2,40	71	1	5,36
4АС90L4УЗ	0,90	1,92	40	1	3,11	0,67	1,84	69	1	9,70
4АС90L6УЗ	0,86	1,93	47	1	3,74	0,64	1,88	82	1	11,8
4АС90LА8УЗ	0,69	1,59	70	1	7,42	0,51	1,53	122	1	23,7
4АС90LВ8УЗ	0,80	1,91	54	1	4,95	0,59	1,82	94	1	15,8
4АС100S2УЗ	0,96	3,58	36×2	1	1,13	1,04	3,71	63	1	3,36
4АС100L2УЗ	1,12	4,02	27×2	1	0,679	0,86	4,12	47×2	1	2,01
4АС100S4УЗ	1,16	2,85	33	1	1,67	0,90	2,97	57	1	4,80
4АС100L4УЗ	1,30	3,15	26	1	1,18	1,00	3,24	45	1	3,44
4АС100L6УЗ	1,08	2,81	40	1	2,20	0,83	2,87	69	1	6,42
4АС100L8УЗ	0,96	2,68	52	1	3,36	0,72	2,60	90	1	10,3
4АС112М2УЗ	1,30	4,80	48	2	0,452	1,40	4,83	41	1	1,33
4АС112М4УЗ	1,40	3,34	23	1	0,916	1,08	3,45	40	1	2,68
4АС112МА6УЗ	1,16	3,09	26	1	1,79	0,86	2,93	45	1	5,66
4АС112МВ6УЗ	1,25	3,36	22	1	1,45	0,96	3,42	38	1	4,25
4АС112МА8УЗ	1,08	3,10	37	1	2,40	0,83	3,16	64	1	7,03
4АС112МВ8УЗ	1,20	3,44	29	1	1,74	0,93	3,54	50	1	5,01
4АС132М2УЗ	1,25	5,90	19×3	1	0,285	1,16	5,90	33×2	1	0,861
4АС132S4УЗ	1,30	5,45	21×2	1	0,505	1,40	5,42	36	1	1,49
4АС132М4УЗ	1,08	6,19	30×2	2	0,301	1,16	6,19	52	2	0,904
4АС132S6УЗ	1,04	4,12	19×2	1	0,928	1,12	4,15	33	1	2,78

Обозначение	$U = 220; 380$ В					$U = 380; 660$ В				
	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
4АС132М6У3	1,25	5,11	14×2	1	0,556	1,35	5,10	24	1	1,64
4АС132S8У3	1,40	4,11	26	1	1,13	1,04	3,95	45	1	3,56
4АС132М8У3	1,16	4,91	19×2	1	0,719	1,25	4,96	33	1	2,15
4АС160S4У3	1,32	9,93	25×2	2	0,225	1,40	9,93	43	2	0,688
4АС160М4У3	1,18	11,0	20×3	2	0,168	1,06	10,3	35×2	2	0,545
4АС160S6У3	1,18	7,72	43	3	0,470	1,12	8,13	25×2	1	1,37
4АС160М6У3	1,40	9,42	32	3	0,290	1,32	9,43	18×2	1	0,825
4АС160S8У3	1,32	7,13	40	2	0,621	1,00	7,05	69	2	1,87
4АС160М8У3	1,12	8,73	29×2	2	0,370	1,18	8,44	50	2	1,15
4АС180S4У3*	1,25	13,2	23×3	2	0,161	1,12	12,3	40×2	2	0,522
4АС180М4У3*	1,18	13,6	18×4	2	0,118	1,32	13,8	29×2	2	0,303
4АС180М6У3	1,32	11,6	(10+10) 2	2	0,255	1,45	12,2	18+17	2	0,738
4АС180М8У3	1,25	11,7	23+23	4	0,318	1,32	11,3	20+20	2	0,993
4АС200М4У3	1,56	18,0	(8+9) 3	2	0,0900	1,18	17,5	(14+15) 3	2	0,268
4АС200L4У3	1,32	19,5	(7+7) 5	2	0,0687	1,32	20,1	(12+12) 3	2	0,196
4АС200М6У3	1,25	16,1	(14+14) 2	3	0,193	1,12	14,6	(16+16) 2	2	0,618
4АС200L6У3	1,40	16,8	(11+11) 2	3	0,129	1,50	16,6	19+19	3	0,389
4АС200М8У3	1,40	13,8	(11+11) 2	2	0,239	1,50	13,6	19+19	2	0,720

4АС225М4У3	1,40	25,3	(13+13) 3	4	0,0487	1,25	23,2	(22+23) 2	4	0,159
4АС225М6У3	1,32	21,8	(10+10) 3	3	0,0945	1,18	20,9	(12+12) 3	2	0,319
4АС225М8У3	1,50	19,7	(8+8) 3	2	0,116	1,40	19,3	27+27	4	0,336
4АС250S4У3	1,56	39,6	(9+9) 4	4	0,0278	1,32	37,7	(16+16) 3	4	0,0930
4АС250М4У3	1,45	40,8	(8+8) 5	4	0,0247	1,40	39,9	(14+14) 3	4	0,0771
4АС250S6У3	1,50	26,5	(9+9) 3	3	0,0691	1,40	26,5	(15+16) 2	3	0,205
4АС250М6У3	1,40	26,9	(7+8) 4	3	0,0519	1,56	28,9	(13+13) 2	3	0,145
4АС250S8У3	1,40	22,7	(15+15) 2	4	0,0985	1,56	23,5	25+25	4	0,265

* Обмотка одно-двухслойная концентрическая. Указано число проводников в пазу, занимаемом большой катушкой.

Примечания: 1. Двигатели мощностью 15 кВт и более выполняются с шестью выводами на напряжения 220/380 и 380/660 В (△/Y). 2. При укладке катушки с разными числами витков чередовать попарно: 17, 17, 18, 18,... ...,8, 8, 9, 9,..., 14, 14, 15, 15,..

Таблица 83. Даные статоров двигателей АК, АНК с высотами оси вращения 160—250 мм (U=220/380 В)

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	δ, мм	z_1	z_2	b_1, мм	b_2, мм
АК160S4У3	11,0	272	185	140	0,5	48	36	7,3	9,9
АК160М4У3	14,0	272	185	180	0,5	48	36	7,3	9,9
АК160S6У3	7,5	272	197	145	0,45	54	36	6,1	8,2
АК160М6У3	10,0	272	197	200	0,45	54	36	6,1	8,2
АК160S8У3	5,5	272	197	145	0,45	48	36	6,8	9,2
АК160М8У3	7,1	272	197	200	0,45	48	36	6,8	9,2
АК180М4У3*	18,5	313	211	185	0,6	48	36	8,2	11,0
АК180М6У3	13,0	313	220	170	0,45	72	54	5,0	7,2
АК180М8У3	11,0	313	220	220	0,45	72	48	5,0	7,2

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	δ, мм	z_1	z_2	b_1, мм	b_2, мм
4АК200М4У3	22,0	349	238	170	0,70	48	36	9,4	12,3
4АК200L4У3	30,0	349	238	200	0,70	48	36	9,4	12,3
4АК200М6У3	18,5	349	250	185	0,65	72	54	6,2	8,4
4АК200L6У3	22,0	349	250	200	0,65	72	54	6,2	8,4
4АК200М8У3	15,0	349	250	145	0,65	72	48	6,2	8,4
4АК225М4У3	37,0	392	264	200	0,85	48	66	9,9	13,0
4АК225М6У3	30,0	392	284	195	0,75	72	81	7,0	9,3
4АК225М8У3	22,0	392	284	195	0,70	72	84	7,0	9,3
4АК250SA4У3	45,0	437	290	180	1,00	60	72	8,5	11,9
4АК250SB4У3	55,0	437	290	220	1,00	60	72	8,5	11,9
4АК250М4У3	71,0	437	290	260	1,00	60	72	8,5	11,9
4АК250S6У3	37,0	437	317	180	0,70	72	81	7,7	10,0
4АК250М6У3	45,0	437	317	240	0,70	72	81	7,7	10,0
4АК250S8У3	30,0	437	317	180	0,70	72	84	7,7	10,0
4АК250М8У3	37,0	437	317	240	0,70	72	84	7,7	10,0
4АНК160S4У3	14,0	272	185	140	0,50	48	36	7,3	9,9
4АНК160М4У3	17,0	272	185	180	0,50	48	36	7,3	9,9
4АНК180S4У3*	22,0	313	211	145	0,60	48	36	8,2	11,0
4АНК180М4У3*	30,0	313	211	195	0,60	48	36	8,2	11,0
4АНК180S6У3	13,0	313	220	130	0,45	72	54	5,0	7,2
4АНК180М6У3	18,5	313	220	170	0,45	72	54	5,0	7,2
4АНК180S8У3	11,0	313	220	170	0,45	72	48	5,0	7,2
4АНК180М8У3	14,0	313	220	220	0,45	72	48	5,0	7,2

4АНК200М4УЗ	37,0	349	238	185	0,70	48	36	9,4	12,3
4АНК200L4УЗ	45,0	349	238	220	0,70	48	36	9,4	12,3
4АНК200М6УЗ	22,0	349	250	200	0,65	72	54	6,2	8,4
4АНК200L6УЗ	30,0	349	250	245	0,65	72	54	6,2	8,4
4АНК200М8УЗ	18,5	349	250	200	0,65	72	48	6,2	8,4
4АНК200L8УЗ	22,0	349	250	245	0,65	72	48	6,2	8,4
4АНК225М4УЗ	55,0	392	264	200	0,85	48	66	9,9	13,0
4АНК225М6УЗ	37,0	392	284	210	0,75	72	81	7,0	9,3
4АНК225М8УЗ	30,0	392	284	210	0,75	72	84	7,0	9,3
4АНК250SA4УЗ	75,0	437	290	180	1,00	60	72	8,5	11,9
4АНК250SB4УЗ	90,0	437	290	220	1,00	60	72	8,5	11,9
4АНК250М4УЗ	110,0	437	290	260	1,00	60	72	8,5	11,9
4АНК250SA6УЗ	45,0	437	317	180	0,70	72	81	7,7	10,0
4АНК250SB6УЗ	55,0	437	317	220	0,70	72	81	7,7	10,0
4АНК250М6УЗ	75,0	437	317	280	0,70	72	81	7,7	10,0
4АНК250SA8УЗ	37,0	437	317	180	0,70	72	84	7,7	10,0
4АНК250SB8УЗ	45,0	437	317	220	0,70	72	84	7,7	10,0
4АНК250М8УЗ	55,0	437	317	280	0,70	72	84	7,7	10,0

Продолжение табл. 83

Обозначение	b_3, мм	h_1, мм	t	a	d, мм	$l_{ср}$, мм	M, кг	n	r, Ом
АК160S4УЗ	3,7	20,5	11; 9	2	1,25	690	9,92	27×2	0,270
АК160М4УЗ	3,7	20,5	11; 9	2	1,40	770	10,8	21×2	0,188
АК160S6УЗ	3,7	18,8	11; 9; 7	3	1,18	670	7,93	44	0,481

Обозначение	$b_з$, мм	h_1, мм	y	a	d, мм	$l_{ср}$, мм	M, кг	n	r, Ом
АК160М6У3	3,7	18,8	11; 9; 7	3	1,40	780	9,44	32	0,290
АК160S8У3	3,7	19,1	7; 5	2	1,32	595	7,43	42	0,652
АК160М8У3	3,7	19,1	7; 5	2	1,50	705	8,74	32	0,456
АК180М4У3*	3,7	24,0	11; 9; 7	2	1,25	800	15,3	17×4	0,0989
АК180М6У3	3,7	26,5	10	2	1,18	700	12,7	(8+9) 3	0,194
АК180М8У3	3,7	26,5	7	4	1,40	735	14,0	19+19	0,243
4АК200М4У3	3,7	24,5	10	2	1,56	850	18,0	(8+9) 3	0,0900
4АК200L4У3	3,7	24,5	10	2	1,18	910	19,4	(7+8) 6	0,0743
4АК200М6У3	3,7	25,7	10	3	1,12	760	16,8	(11+12) 3	0,141
4АК200L6У3	3,7	25,7	10	2	1,25	790	17,6	(7+7) 4	0,121
4АК200М8У3	3,7	25,7	7	4	1,50	675	14,7	19+19	0,194
4АК225М4У3	3,7	27,0	10	4	1,18	970	24,8	(13+14) 4	0,0534
4АК225М6У3	3,7	27,6	10	3	1,32	855	21,7	(9+10) 3	0,0942
4АК225М8У3	3,7	27,6	7	4	1,25	755	20,5	(17+17) 2	0,140
4АК250SA4У3	3,7	34,0	12	4	1,40	980	36,0	(11+11) 4	0,0391
4АК250SB4У3	3,7	34,0	12	4	1,40	1060	39,8	(9+9) 5	0,0277
4АК250М4У3	3,7	34,0	12	4	1,40	1140	40,0	(7+7) 6	0,0193
4АК250S6У3	3,7	28,6	10	3	1,32	855	25,8	(8+9) 4	0,0632
4АК250М6У3	3,7	28,6	10	3	1,32	975	30,4	(7+7) 5	0,0475
4АК250S8У3	3,7	28,6	7	4	1,40	755	22,7	(15+15) 2	0,0985
4АК250М8У3	3,7	28,6	7	4	1,12	875	26,9	(12+12) 4	0,0714
4АНК160S4У3	3,7	20,5	11; 9	2	1,25	690	9,64	26×2	0,261
4АНК160М4У3	3,7	20,5	11; 9	2	1,18	770	10,9	20×3	0,168

4АНК180S4У3*	3,7	24,0	11; 9; 7	2	1,12	720	12,9	21×4	0,137
4АНК180M4У3*	3,7	24,0	11; 9; 7	2	1,32	820	14,5	15×4	0,0802
4АНК180S6У3	3,7	26,5	10	3	1,50	620	11,4	16+16	0,267
4АНК180M6У3	3,7	26,5	10	3	1,25	700	13,4	(12+12) 2	0,163
4АНК180S8У3	3,7	26,5	7	4	1,25	635	11,7	23+23	0,319
4АНК180M8У3	3,7	26,5	7	4	1,00	735	13,5	(18+18) 2	0,226
4АНК200M4У3	3,7	24,5	10	2	1,18	880	18,8	(7+8) 6	0,0718
4АНК200L4У3	3,7	24,5	10	4	1,25	950	19,5	(13+13) 3	0,0599
4АНК200M6У3	3,7	25,7	10	2	1,25	790	17,6	(7+7) 4	0,121
4АНК200L6У3	3,7	25,7	10	3	1,12	880	19,2	(8+9) 4	0,0904
4АНК200M8У3	3,7	25,7	7	2	1,25	705	15,2	(9+9) 3	0,185
4АНК200L8У3	3,7	25,7	7	4	1,18	795	17,0	(15+15) 2	0,146
4АНК225M4У3	3'7	27,0	10	4	1,40	970	25,2	(13+13) 3	0,0488
4АНК225M6У3	3,7	27,6	10	3	1,40	885	23,9	(9+9) 3	0,0821
4АНК225M8У3	3,7	27,6	7	4	1,32	785	20,9	(15+15) 2	0,115
4АНК250SA4У3	3,7	34,0	12	4	1,45	980	35,1	(10+10) 4	0,0331
4АНК250SB4У3	3,7	34,0	12	4	1,50	1060	40,8	(8+8) 5	0,0214
4АНК250M4У3	3,7	34,0	12	4	1,56	1140	41,5	(7+7) 5	0,0186
4АНК250SA6У3	3,7	28,6	10	3	1,18	855	25,8	(8+9) 5	0,0633
4АНК250SB6У3	3,7	28,6	10	3	1,50	935	30,1	(7+7) 4	0,0441
4АНК250M6У3	3,7	28,6	10	3	1,50	1055	33,3	(5+6) 5	0,0313
4АНК250SA8У3	3,7	28,6	7	4	1,45	755	22,7	(14+14) 2	0,0857
4АНК250SB8У3	3,7	28,6	7	4	1,60	835	26,2	(12+12) 2	0,0667
4АНК250M8У3	3,7	28,6	7	4	1,45	955	30,8	(10+10) 3	0,0516

* Обмотка одно-двухслойная концентрическая. Указано число проводников в пазу, занимаемом большой катушкой.

Примечание. При укладке катушки с разными числами витков чередовать попарно: 8, 8, 9, 9,...7, 7, 8, 8...

Таблица 84. Данные роторов двигателей АК, АНК

Обозначение	b_1, мм	b_2, мм	b_3, мм	h_1 мм	y	$l_{ср}$, мм	d; $a \times b$, мм	M, кг	n	a	r Ом
4АК160S4УЗ	9,0	4,5	3,7	28,3	7	625	1,40	7,53	(8+8) 3	1	0,232
4АК160М4УЗ	9,0	4,5	3,7	28,3	7	705	1,40	8,54	(6+6) 4	1	0,147
4АК160S6УЗ	9,0	5,6	3,7	22,0	5	600	1,18	5,83	(9+9) 3	1	0,353
4АК160М6УЗ	9,0	5,6	3,7	22,0	5	710	1,32	6,64	(7+7) 3	1	0,259
4АК160S8УЗ	9,0	5,6	3,7	22,0	4	575	1,18	5,32	(13+13) 2	1	0,732
4АК160М8УЗ	9,0	5,6	3,7	22,0	4	685	1,18	6,63	(9+9) 3	1	0,403
4АК180М4УЗ	9,5	5,5	3,7	27,0	7	765	1,40	9,61	(5+5) 5	1	0,106
4АК180М6УЗ	6,8	3,9	3,7	27,0	7	645	1,25	7,73	(5+5) 4	1	0,211
4АК180М8УЗ	7,9	4,8	3,7	27,0	5	720	1,40	9,64	(5+5) 4	1	0,167
4АК200М4УЗ	10,8	5,0	3,7	37,0	7	750	1,32	13,3	(10+10) 4	2	0,0734
4АК200L4УЗ	10,8	5,0	3,7	37,0	7	810	1,40	14,6	(9+9) 4	2	0,0634
4АК200М6УЗ	8,0	3,7	3,7	39,0	7	700	1,18	13,1	(5+5) 7	1	0,147
4АК200L6УЗ	8,0	3,7	3,7	39,0	7	750	1,32	14,0	(4+4) 7	1	0,101
4АК200М8УЗ	8,9	4,2	3,7	39,0	5	665	1,18	13,2	(7+7) 6	1	0,203
4АК225М4УЗ	4,3	—	1,5	40,2	17; 16	980	2,26×16,8	23,0	1+1	1	0,0102
4АК225М6УЗ	4,3	—	1,5	40,2	14; 13	950	2,26×16,8	25,4	1+1	1	0,0120
4АК225М8УЗ	4,3	—	1,5	40,2	11; 10	886	2,26×16,8	24,5	1+1	1	0,0118
4АК250SA4УЗ	4,5	—	1,5	40,2	18	1050	2,44×16,8	27,2	1+1	1	0,0111
4АК250SB4УЗ	4,5	—	1,5	40,2	18	1130	2,44×16,8	29,8	1+1	1	0,0120
4АК250М4УЗ	4,5	—	1,5	40,2	18	1210	2,44×16,8	31,9	1+1	1	0,0128
4АК250S6УЗ	4,5	—	1,5	40,2	14; 13	920	2,44×16,8	27,3	1+1	1	0,0109
4АК250М6УЗ	4,5	—	1,5	40,2	14; 13	1040	2,44×16,8	30,8	1+1	1	0,0124
4АК250S8УЗ	4,5	—	1,5	40,2	11; 10	840	2,44×16,8	25,9	1+1	1	0,0104
4АК250М8УЗ	4,5	—	1,5	40,2	11; 10	960	2,44×16,8	29,5	1+1	1	0,0118

4АНК160S4У3	9,0	4,5	3,7	28,3	7	625	1,40	7,53	(8+8) 3	1	0,232
4АНК160М4У3	9,0	4,5	3,7	28,3	7	705	1,40	8,54	(6+6) 4	1	0,147
4АНК180S4У3	9,5	5,5	3,7	27,0	7	685	1,25	8,23	(6+6) 5	1	0,144
4АНК180М4У3	9,5	5,5	3,7	27,0	7	785	1,56	9,84	(4+4) 5	1	0,0704
4АНК180S6У3	6,8	3,9	3,7	27,0	7	565	1,40	7,94	(4+4) 4	1	0,118
4АНК180М6У3	6,8	3,9	3,7	27,0	7	645	1,45	7,83	(5+5) 3	1	0,209
4АНК180S8У3	7,9	4,8	3,7	27,0	5	620	1,40	8,74	(7+7) 3	1	0,268
4АНК180М8У3	7,9	4,8	3,7	27,0	5	720	1,45	10,3	(5+5) 4	1	0,156
4АНК200М4У3	10,8	5,0	3,7	37,0	7	780	1,32	13,9	(10+10) 4	2	0,0763
4АНК200L4У3	10,8	5,0	3,7	37,0	7	850	1,40	15,0	(9+9) 4	2	0,0666
4АНК200М6У3	8,0	3,7	3,7	39,0	7	750	1,32	14,6	(5+5) 6	1	0,143
4АНК200L6У3	8,0	3,7	3,7	39,0	7	820	1,50	17,0	(4+4) 6	1	0,0994
4АНК200М8У3	8,9	4,2	3,7	39,0	5	695	1,06	13,0	(7+7) 7	1	0,225
4АНК200L8У3	8,9	4,2	3,7	39,0	5	785	1,40	15,7	(5+5) 6	1	0,122
4АНК225М4У3	4,3	—	1,5	40,2	17; 16	980	2,26×16,8	20,0	1+1	1	0,0103
4АНК225М6У3	4,3	—	1,5	40,2	14; 13	892	2,26×16,8	23,1	1+1	1	0,0115
4АНК225М8У3	4,3	—	1,5	40,2	11; 10	916	2,26×16,8	25,4	1+1	1	0,0118
4АНК250SA4У3	4,5	—	1,5	40,2	18	1050	2,44×16,8	28,1	1+1	1	0,0118
4АНК250SB4У3	4,5	—	1,5	40,2	18	1130	2,44×16,8	30,2	1+1	1	0,0120
4АНК250М4У3	4,5	—	1,5	40,2	18	1210	2,44×16,8	32,4	1+1	1	0,0128
4АНК250SA6У3	4,5	—	1,5	40,2	14; 13	920	2,44×16,8	27,4	1+1	1	0,0109
4АНК250SB6У3	4,5	—	1,5	40,2	14; 13	1000	2,44×16,8	29,8	1+1	1	0,0119
4АНК250М6У3	4,5	—	1,5	40,2	14; 13	1120	2,44×16,8	33,5	1+1	1	0,0133
4АНК250SA8У3	4,5	—	1,5	40,2	11; 10	840	2,44×16,8	25,9	1+1	1	0,0104
4АНК250SB8У3	4,5	—	1,5	40,2	11; 10	920	2,44×16,8	28,4	1+1	1	0,0114
4АНК250М8У3	4,5	—	1,5	40,2	11; 10	1040	2,44×16,8	32,2	1+1	1	0,0128
4АНК280S4У3	5,0	—	1,5	43,1	18	1160	3,05×18,0	40,3	1+1	1	0,00914
4АНК280М4У3	5,0	—	1,5	43,1	18	1220	3,05×18,0	42,5	1+1	1	0,00961
4АНК280S6У3	5,0	—	1,5	39,5	14; 13	1070	3,00×16,0	37,0	1+1	1	0,0109
4АНК280М6У3	5,0	—	1,5	39,5	14; 13	1130	3,00×16,0	39,1	1+1	1	0,0115
4АНК280S8У3	5,0	—	1,5	39,5	11; 10	1040	3,00×16,0	36,9	1+1	1	0,0110

Обозначение	b_1, мм	b_2, мм	b_3, мм	h_1, мм	y	$l_{ср}$, мм	d; $a \times b$, мм	M, кг	n	a	r, Ом
4АНК280М8У3	5,0	—	1,5	39,5	11; 10	120	3,00×16,0	39,0	+11	1	0,0116
4АНК280S10У3	4,6	—	1,5	35,3	12	920	2,65×14,0	34,8	1+1	1	0,0180
4АНК280М10У3	4,6	—	1,5	35,3	12	1990	2,65×14,0	37,4	1+1	1	0,0193
4АНК315S4У3	5,7	—	1,5	46,3	18	1290	3,80×19,5	61,0	1+1	1	0,00751
4АНК315М4У3	5,7	—	1,5	46,3	18	1370	3,80×19,5	65,0	1+1	1	0,00798
4АНК315S6У3	5,7	—	1,5	40,9	14; 13	1140	3,80×16,8	49,8	1+1	1	0,00866
4АНК315М6У3	5,7	—	1,5	40,9	14; 13	1230	3,80×16,8	52,5	1+1	1	0,00935
4АНК315S8У3	6,6	—	1,5	37,4	11; 10	1130	4,50×15,0	57,0	1+1	1	0,00848
4АНК315М8У3	6,6	—	1,5	37,4	11; 10	1210	4,50×15,0	61,0	1+1	1	0,00908
4АНК315S10У3	4,8	—	1,5	39,4	12	1010	2,80×16,0	47,7	1+1	1	0,0163
4АНК315М10У3	4,8	—	1,5	39,4	12	1090	2,80×16,0	51,5	1+1	1	0,0176
4АНК315S12У3	4,4	—	1,5	40,9	9	950	2,44×16,8	37,0	1+1	1	0,0150
4АНК315М12У3	4,4	—	1,5	40,9	9	1030	2,44×16,8	40,2	1+1	1	0,0164
4АНК355S4У3	6,3	—	1,5	46,3	18	1460	4,40×19,5	79,6	1+1	1	0,00737
4АНК355М4У3	6,3	—	1,5	46,3	18	1600	4,40×19,5	87,1	1+1	1	0,00807
4АНК355S6У3	6,0	—	1,5	43,3	14; 13	1185	4,10×18,0	62,4	1+1	1	0,00783
4АНК355М6У3	6,0	—	1,5	43,3	14; 13	1295	4,10×18,0	68,2	1+1	1	0,00856
4АНК355S8У3	6,8	—	1,5	39,4	11; 10	1170	4,75×16,0	65,7	1+1	1	0,00779
4АНК355М8У3	6,8	—	1,5	39,4	11; 10	1330	4,75×16,0	74,7	1+1	1	0,00885
4АНК355S10У3	4,8	—	1,5	39,4	12	1025	2,80×16,0	48,5	1+1	1	0,0165
4АНК355М10У3	4,8	—	1,5	39,4	12	1095	2,80×16,0	51,8	1+1	1	0,0177
4АНК355S12У3	4,4	—	1,5	43,3	9	985	2,44×18,0	41,2	1+1	1	0,0146
4АНК355М12У3	4,4	—	1,5	43,3	9	1055	2,44×18,0	44,0	1+1	1	0,0157

Примечание. Роторы с числом проводников в пазу $n=1+1$ имеют стержневую волновую обмотку.

Таблица 85. Марки обмоточных и выводных проводов в двигателях серии 4А

Марка обмоточного провода	Высота оси вращения, мм	Укладка
ПЭТВ	50—132	Ручная
ПЭТВМ	50—132	Механизированная
ПЭТ-155	160—250	Ручная
ПЭТМ	160—250	Механизированная
ПЭТП-155*		
ПЭТ-155**	280—355	Ручная

* При жесткой обмотке.
** При всыпной обмотке.

Примечание. Марка выводного провода ПВКФ при высотах оси вращения 50—250 мм и РКГМ при высотах оси вращения 280—355 мм.

54. Данные двигателей единой серии А2, АО2

Таблица 86. Данные двигателей АО2, АОЛ2 1—4-го габаритов

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l, мм	z_1	z_2	y	$l_{ср}$, мм	U=127/220 В				
									d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
АОЛ2-11-2	0,8	133	73	54	24	20	11; 9	432	0,85	1,50	56	1	2,980
АОЛ2-12-2	1,1	133	73	67	24	20	11; 9	458	0,95	1,57	45	1	2,030
АОЛ2-11-4	0,6	133	80	54	24	30	7; 5	346	0,75	1,24	75	1	4,300
АОЛ2-12-4	0,8	133	80	67	24	30	7; 5	372	0,85	1,40	62	1	3,040
АОЛ2-11-6	0,4	133	80	67	36	26	7; 5	323	0,71	1,45	69	1	5,860
АОЛ2-12-6	0,6	133	80	77	36	26	7; 5	343	0,85	1,81	55	1	3,480

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l, мм	z_1	z_2	y	$l_{ср}$, мм	U=127/220 В				
									d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
АОЛ2-21-2	1,5	153	86	65	24	30	11; 9	494	1,18	2,30	40	1	1,330
АОЛ2-22-2	2,2	153	86	92	24	30	11; 9	548	1,25	2,25	31	1	0,986
АОЛ2-21-4	1,1	153	94	70	24	30	7; 5	404	1,00	1,83	53	1	1,950
АОЛ2-22-4	1,5	153	94	97	24	30	7; 5	458	1,18	2,19	41	1	1,270
АОЛ2-21-6	0,8	153	98	70	36	26	7; 5	348	0,95	1,93	49	1	2,720
АОЛ2-22-6	1,1	153	98	97	36	26	7; 5	402	1,00	1,98	37	1	1,880
АОЛ2-31-2	3,0	180	106	90	24	20	11; 9; 7	580	1,12	3,60	$\frac{30\times2}{(15+13)\,2}$	1	0,595
АОЛ2-32-2	4,0	180	106	117	24	20	11; 9; 7	634	1,32	4,20	$\frac{23\times2}{(12+10)\,2}$	1	0,386
АОЛ2-31-4	2,2	180	112	90	36	26	11; 9; 7	476	1,00	3,06	25×2	1	0,812
АОЛ2-32-4	3,0	180	112	117	36	26	11; 9; 7	530	1,12	3,41	20×2	1	0,573
АОЛ2-31-6	1,5	180	118	90	36	44	7; 5	412	0,95	3,40	35×2	1	1,070
АОЛ2-32-6	2,2	180	118	117	36	44	7; 5	466	1,12	3,90	26×2	1	0,656
АО2-31-2	3,0	180	106	88	24	20	11; 9	600	1,06	2,96	25×2	1	0,606
АО2-32-2	4,0	180	106	115	24	20	11; 9	654	1,25	3,70	21×2	1	0,399
АО2-31-4	2,2	180	112	88	36	26	11; 9; 7	476	0,95	2,90	26×2	1	0,935
АО2-32-4	3,0	180	112	115	36	26	11; 9; 7	530	1,12	3,44	20×2	1	0,576
АО2-31-6	1,5	180	122	88	36	33	7; 5	422	0,85	2,86	35×2	1	1,395
АО2-32-6	2,2	180	122	115	36	33	7; 5	476	1,06	3,51	26×2	1	0,750
АО2-41-2	5,5	208	123	110	24	20	11; 9	728	1,32	6,00	18×3	1	0,222
АО2-42-2	7,5	208	123	148	24	20	11; 9	804	1,32	7,09	29×2	2	0,152
АО2-41-4	4,0	208	133	110	36	26	11; 9; 7	580	1,40	6,75	19×2	1	0,383

АО2-42-4	5,5	208	133	148	36	26	11; 9; 7	656	1,32	6,09	14×3	1	0,239
АО2-41-6	3,0	208	144	110	36	33	7; 5	496	1,25	4,79	24×2	1	0,519
АО2-41-6	4,0	208	144	148	36	33	7; 5	572	1,40	5,48	19×2	1	0,378
АО2-41-8	2,2	208	144	110	36	33	4	430	1,06	3,68	(15+15) 2	1	0,782
АО2-42-8	3,0	208	144	148	36	33	4	506	1,18	4,45	(12+12) 2	1	0,594

Продолжение табл. 86

Обозначение	U=220/380 В				U=500 В					U=380/660 В			
	d, мм	n	a	r Ом	d, мм	M кг	n	a	r, Ом	d, мм	n	a	r, Ом
АОЛ2-11-2	0,63	97	1	9,28	0,56	1,52	128	1	15,50	0,50	168	1	27,7
АОЛ2-12-2	0,71	78	1	6,28	0,63	1,64	103	1	10,50	0,56	135	1	18,6
АОЛ2-11-4	0,56	129	1	12,50	0,50	1,23	170	1	22,30	0,45	218	1	35,5
АОЛ2-12-4	0,71	107	1	9,40	0,56	1,38	141	1	15,7	0,45	186	1	28,6
АОЛ2-11-6	0,56	120	1	17,50	0,50	1,61	158	1	29,10	0,40	208	1	54,5
АОЛ2-12-6	0,63	95	1	10,80	0,56	1,70	125	1	19,30	0,50	165	1	30,0
АОЛ2-21-2	0,85	69	1	4,19	0,75	2,14	91	1	7,47	0,63	120	1	1,31
АОЛ2-22-2	0,95	54	1	2,92	0,85	2,33	71	1	5,14	0,75	94	1	8,55
АОЛ2-21-4	0,75	92	1	5,69	0,71	1,93	121	1	9,90	0,63	160	1	16,90
АОЛ2-22-4	0,90	71	1	3,65	0,75	2,12	94	1	6,60	0,71	123	1	11,40
АОЛ2-21-6	0,71	85	1	8,48	0,63	1,96	112	1	13,20	0,56	147	1	24,80
АОЛ2-22-6	0,80	65	1	5,57	0,71	2,17	86	1	9,90	0,63	112	1	16,00
АОЛ2-31-2	0,85	$\frac{51\times2}{(25+22)\,2}$	1	1,74	1,06	3,50	$\frac{67}{32+29}$	1	3,11	0,95	$\frac{89}{44+38}$	1	5,22
АОЛ2-32-2	0,95	$\frac{40\times2}{(21+18)\,2}$	1	1,24	0,85	4,01	$\frac{53\times2}{(28+24)\,2}$	1	2,20	1,06	$\frac{69}{36+31}$	1	3,62

Обозначение	U=220/380 В				U=500 В					U=380/660 В			
	d, мм	n	a	r, Ом	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d, мм	n	a	r, Ом
АОЛ2-31-4	1,06	43	1	2,38	0,95	3,08	57	1	4,28	0,80	75	1	7,60
АОЛ2-32-4	1,18	35	1	1,76	1,06	3,44	46	1	3,07	0,90	61	1	5,45
АОЛ2-31-6	1,06	60	1	3,12	0,90	3,98	79	1	5,45	0,75	104	1	9,85
АОЛ2-32-6	0,80	46×2	1	2,12	1,06	3,95	60	1	3,53	0,90	80	1	6,30
АО2-31-2	1,18	44	1	1,723	1,00	3,00	58	1	3,165	0,85	76	1	5,72
АО2-32-2	0,95	36×2	1	1,185	0,85	3,80	48×2	1	1,980	0,72	62×2	1	3,56
АО2-31-4	1,06	45	1	2,599	0,90	2,94	59	1	4,731	—	—	—	—
АО2-32-4	1,18	35	1	1,816	1,06	3,52	46	1	1,958	0,90	61	1	5,444
АО2-31-6	0,95	61	1	3,889	0,80	2,79	80	1	7,200	—	—	—	—
АО2-32-6	1,12	46	1	2,381	1,0	3,69	60	1	3,900	—	—	—	—
АО2-41-2	1,25	31×2	1	0,656	1,06	5,88	41×2	1	1,207	0,95	54×2	1	1,980
АО2-42-2	1,00	51×2	2	0,466	1,25	7,20	67	2	0,783	1,06	88	2	1,430
АО2-41-4	1,06	33×2	1	1,160	1,32	5,70	43	1	1,953	1,18	57	1	3,240
АО2-42-4	1,18	25×2	1	0,803	1,06	6,17	32×2	1	1,312	0,90	43×2	1	2,375
АО2-41-6	1,32	41	1	1,592	1,18	4,73	54	1	2,622	1,00	71	1	4,806
АО2-42-6	1,06	32×2	1	1,110	1,32	5,50	42	1	1,881	1,18	56	1	3,137
АО2-41-8	1,12	26+26	1	2,431	0,95	3,43	34+34	1	4,417	0,85	45+45	1	7,312
АО2-42-8	0,90	(20+20) 2	1	1,704	1,12	4,26	26+26	1	2,861	0,95	35+35	1	5,352

Примечания: 1. Марка провода ПЭТВ-2. 2. При напряжении 500 В фазы обмотки соединяются звездой.

Таблица 87. Данные двигателей АО2 5—9-го габаритов

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l, мм	z_1	z_2	y	$l_{ср}$ мм	U=220/380 В				
									d мм	M, кг	u	a	r, Ом
АО2-51-2	10,0	243	140	135	24	20	9	804	1,25	10,70	(25+25) 2	2	0,287
АО2-52-2	13,0	243	140	170	24	20	9	874	1,32	11,14	(21+21) 2	2	0,225
АО2-51-4	7,5	243	158	135	36	26	7	614	1,32	7,28	(13+13) 2	1	0,587
АО2-52-4	10,0	243	158	170	36	26	7	684	1,25	8,20	(10+10) 3	1	0,390
АО2-51-6	5,5	243	173	135	36	33	5	546	1,18	5,75	(15+15) 2	1	0,812
АО2-52-6	7,5	243	173	190	36	33	5	656	1,40	7,25	(11+11) 2	1	0,493
АО2-51-8	4,0	243	173	135	36	46	4	515	1,40	4,83	18+18	1	1,180
АО2-52-8	5,5	243	173	190	36	46	4	625	1,25	6,50	(13+13) 2	1	0,695
АО2-62-2	17	291	173	135	36	28	11	788	1,40	10,72	(13+13) 2	2	0,179
АО2-61-4	13	291	180	120	36	46	7	619	1,25	9,56	(19+19) 2	2	0,256
АО2-62-4	17	291	180	165	36	46	7	708	1,40	10,85	(15+15) 2	2	0,185
АО2-61-6	10	291	206	150	54	64	7	601	1,06	9,19	(17+17) 2	2	0,462
АО2-62-6*	13,0	291	206	165	54	64	7; 9; 7	670	1,06	11,47	40×2	3	0,272
АО2-61-8	7,5	291	206	150	54	64	6	577	1,40	9,23	20+20	2	0,590
АО2-62-8	10,0	291	206	190	54	64	6	657	1,18	11,11	(15+15) 2	2	0,362
АО2-71-2	22,0	343	183	130	36	28	11	935	1,32	15,94	(13+13) 3	2	0,153
АО2-72-2	30,0	343	183	165	36	28	11	1005	1,60	18,26	(9+10) 3	2	0,089
АО2-71-4	22,0	343	214	165	36	46	7	775	1,18	14,7	(25+25) 2	4	0,116
АО2-72-4	30,0	343	214	205	36	46	7	895	1,60	16,92	(10+10) 3	2	0,0805
АО2-71-6	17,0	343	245	165	54	64	7	686	1,40	13,0	(12+12) 2	2	0,211
АО2-72-6	22,0	343	245	205	54	64	7	786	1,60	15,7	(10+10) 2	2	0,152
АО2-71-8	13,0	343	245	165	54	64	6	664	1,32	12,81	(14+14) 2	2	0,278
АО2-72-8	17,0	343	245	205	54	64	6	744	1,50	14,20	(11+11) 2	2	0,188
АО2-81-2	40	393	211	170	36	28	11	1070	1,50	24,90	(8+8) 5	2	0,0520
АО2-82-2	55	393	211	210	36	28	11	1150	1,60	29,00	(6+7) 6	2	0,0357
АО2-81-4	40	393	247	190	48	58	10	1000	1,60	26,77	(15+15) 2	4	0,0641
АО2-82-4	55	393	247	260	48	58	10	1130	1,60	32,25	(11+11) 3	4	0,0396

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм	z_1	z_2	y	$l_{ср}$ мм	U=220/380В				
									d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
АО2-81-6	30	393	285	190	72	82	10	830	1,32	24,51	(11+11) 3	3	0,110
АО2-82-6	40	393	285	260	72	82	10	970	1,50	27,46	(8+8) 3	3	0,0697
АО2-81-8	22	393	285	190	72	82	7	758	1,40	21,35	(9+9) 3	2	0,158
АО2-82-8	30	393	285	260	72	82	7	898	1,40	26,40	(7+7) 4	2	0,109
АО2-91-2	75	458	247	221	48	40	15	650	1,60	45,5	(5+5) 8	2	0,0289
АО2-92-2	100	458	247	276	48	40	15	705	1,60	49,4	(4+4) 10	2	0,0200
АО2-91-4	75	458	290	246	60	70	12	578	1,60	46,2	(9+9) 4	4	0,0288
АО2-92-4	100	458	290	336	60	70	12	667	1,60	51,0	(7+7) 5	4	0,0208
АО2-91-6	55	458	334	246	72	86	10	540	1,50	34,6	(7+7) 4	3	0,0508
АО2-92-6	75	458	334	336	72	86	10	630	1,50	47,7	(11+11) 3	6	0,0301
АО2-91-8	40	458	334	246	72	86	7	448	1,60	28,2	(12+12) 2	4	0,0717
АО2-92-8	55	458	334	336	72	86	7	538	1,50	37,0	(10+10) 3	4	0,0544
АО2-91-10	30	458	334	276	60	74	5	457	1,40	24,4	(8+8) 4	2	0,106
АО2-92-10	40	458	334	336	60	74	5	518	1,50	31,5	(6+6) 5	2	0,626

Продолжение табл. 87

Обозначение	U=500 В					U=380/660 В				
	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
АО2-62-2	1,25	11,50	(18+18) 2	2	0,309	1,06	10,79	(23+23) 2	2	0,550
АО2-61-4	1,06	9,23	(25+25) 2	2	0,470	1,32	9,36	33+33	2	0,805
АО2-62-4	1,25	11,50	(20+20) 2	2	0,310	1,06	10,90	(26+26) 2	2	0,560
АО2-61-6	1,32	9,12	22+22	2	0,775	1,18	9,26	29+29	2	1,985
АО2-62-6	1,32	11,74	53	3	0,460	1,12	11,20	69	3	0,838
АО2-61-8	1,32	10,06	26+26	2	0,885	1,06	8,78	34+34	2	1,670
АО2-62-8	1,40	10,50	20+20	2	0,685	1,32	11,53	26+26	2	1,000

АО2-81-2	1,40	24,60	(11+11) 4	2	0,0920	1,32	26,42	(14+14) 4	2	0,153
АО2-82-2	1,50	28,32	(8+9) 5	2	0,0592	1,50	29,52	(11+12) 4	2	0,100
АО2-81-4	1,60	27,0	(10+10) 3	2	0,1140	1,18	26,45	(26+26) 2	4	0,204
АО2-82-4	1,32	30,19	(14+15) 3	4	0,0665	1,40	30,02	(19+19) 2	4	0,111
АО2-81-6	1,06	21,81	(14+14) 3	3	0,176	1,18	22,12	(18+18) 2	3	0,308
АО2-82-6	1,60	27,2	21+21	6	0,114	1,40	27,6	(14+14) 2	3	0,210
АО2-81-8	1,25	22,52	(12+12) 3	2	0,264	1,32	21,7	31+31	4	0,434
АО2-82-8	1,40	25,31	(9+9) 3	2	0,187	1,50	25,39	(12+12) 2	2	0,327
АО2-91-2	1,50	45,2	(6+7) 7	2	0,0488	1,32	42,5	(9+9) 6	2	0,102
АО2-92-2	1,50	48,5	(5+5) 9	2	0,0317	1,32	47,8	(7+7) 8	2	0,0644
АО2-91-4	1,60	46,6	(12+12) 3	4	0,0513	1,40	46,2	(16+16) 3	4	0,0893
АО2-92-4	1,60	52,8	(9+9) 4	4	0,0333	1,50	56,8	(11+11) 4	4	0,0463
АО2-91-6	1,40	32,4	(10+10) 3	3	0,113	1,32	35,2	(12+12) 3	3	0,150
АО2-92-6	1,50	41,3	(14+15) 2	6	0,0615	1,32	43,5	(19+19) 2	6	0,104
АО2-91-8	1,40	29,5	(16+16) 2	4	0,125	1,25	30,0	(21+21) 2	4	0,206
АО2-92-8	1,60	35,1	(12+12) 2	4	0,084	1,40	34,5	(16+16) 2	4	0,250
АО2-91-10	1,40	240	(10+11) 3	2	0,186	1,40	27,4	(12+12) 3	2	0,212
АО2-92-10	1,40	28,6	(8+8) 4	2	0,121	1,60	32,4	(9+9) 3	2	0,138

* Схема обмотки — см. рис. 21.

Примечания: 1. Марка провода ПЭТВ-2 для двигателей 5—8-го габаритов и ПЭТ-155 для двигателей 9-го габарита. 2. Для двигателей 9-го габарита на напряжение 380/660В при $2p=2\div8$ средняя длина витка $l_{ср}$ на 6 мм меньше, указанной в таблице. 3. При напряжении 500 В фазы обмотки соединяются звездой.

Таблица 88. Данные двигателей единой серии А2 6—9-го габаритов, АК2 8-го и 9-го габаритов и АОК2 5-го и 7-го габаритов

Обозначение	P, кВт	$D_а$, мм	D_i, мм	l, мм	z_1	z_2	y	$l_{ср}$, мм	U=220/380 В				
									d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
А2-61-2	17	291	153	95	36	28	13	778	1,32	10,4	(15+15) 2	2	0,230

Обозначение	P кВт	D_a мм	D_i мм	l, мм	z_1	z_2	y	$l_{ср}$, мм	U=220/380 В				
									d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
А2-62-2	22	291	153	110	36	28	12	812	1,18	11,2	(13+13) 3	2	0,166
А2-61-4	13	291	180	120	36	46	7	619	1,18	9,2	(20+20) 2	2	0,307
А2-62-4	17	291	180	150	36	46	7	679	1,32	10,1	(16+16) 2	2	0,212
А2-61-6	10	291	206	120	54	64	7	539	1,06	9,2	(19+19) 2	2	0,468
А2-62-6	13	291	206	165	54	64	7	629	1,25	10,8	(14+14) 2	2	0,289
А2-61-8	7,5	291	206	120	54	64	6	515	1,40	8,7	22+22	2	0,593
А2-62-8	10	291	206	165	54	64	6	605	1,18	10,9	(16+16) 2	2	0,355
А2-71-2	30	343	183	115	36	28	11	918	1,40	16,3	(12+12) 3	2	0,126
А2-72-2	40	343	183	150	36	28	11	988	1,60	17,5	(9+9) 3	2	0,076
А2-71-4	22	343	214	115	36	46	7	675	1,60	12,9	(15+15) 2	2	0,143
А2-72-4	30	343	214	165	36	46	7	775	1,50	14,7	(11+11) 3	2	0,0845
А2-71-6	17	343	245	130	54	64	7	641	1,32	12,2	(14+14) 2	2	0,247
А2-72-6	22	343	245	165	54	64	7	686	1,60	14,5	(11+11) 2	2	0,156
А2-71-8	13	343	245	130	54	64	6	594	1,25	11,6	(16+16) 2	2	0,314
А2-72-8	17	343	245	165	54	64	6	664	1,40	13,1	(13+13) 2	2	0,228
А2-81-2	55	393	211	140	36	28	11	1010	1,50	24,2	(9+8) 5	2	0,0557
А2-82-2	75	393	211	190	36	28	11	1110	1,50	25,3	(6+7) 6	2	0,0365
А2-81-4	40	393	247	140	48	58	10	900	1,50	25,1	(18+18) 2	4	0,0807
А2-82-4	55	393	247	190	48	58	10	1000	1,40	27,4	(13+13) 3	4	0,0467
А2-81-6	30	393	285	140	72	82	10	742	1,50	21,2	(12+12) 2	3	0,1200
А2-82-6	40	393	285	190	72	82	10	842	1,32	29,5	(10+10) 3	3	0,0933
А2-81-8	22	393	285	140	72	82	7	658	1,60	18,7	21+21	4	0,1800
А2-82-8	30	393	285	190	72	82	7	758	1,60	24,3	(8+8) 3	2	0,1130
А2-91-2	100	458	247	176	48	40	15	605	1,60	42,9	(4+5) 9	2	0,0215
А2-92-2	125	458	247	221	48	40	15	650	1,60	43,7	(3+4) 11	2	0,0147
А2-91-4	75	458	290	176	60	70	12	508	1,50	39,0	(10+10) 4	4	0,0320

A2-92-4	100	458	290	221	60	70	12	553	1,50	42,1	(8+8) 5	4	0,0224
A2-91-6	55	458	334	176	72	86	10	470	1,40	32,0	(17+17) 2	6	0,0608
A2-92-6	75	458	334	246	72	86	10	540	1,50	37,0	(6+6) 5	3	0,0343
A2-91-8	40	458	334	176	72	86	7	378	1,50	26,6	(15+15) 2	4	0,0847
A2-92-8	55	458	334	246	72	86	7	448	1,40	30,0	(11+11) 3	4	0,0560
A2-91-10	30	458	334	176	60	74	5	725	1,60	22,1	(9+9) 3	2	0,0950
A2-92-10	40	458	334	246	60	74	5	815	1,50	25,2	(7+7) 4	2	0,0707
AK2-81-4	40	393	247	196	48	60	10	970	1,60	26,9	(16+16) 2	4	0,0692
AK2-82-4	55	393	247	266	48	60	10	1110	1,60	31,8	(11+11) 3	4	0,0363
AK2-81-6	30	393	285	196	72	81	10	830	1,32	23,4	(10+10) 3	3	0,0970
AK2-82-6	40	393	285	266	72	81	10	970	1,50	27,5	(8+8) 3	3	0,0697
AK2-81-8	22	393	285	196	72	84	7	750	1,40	21,5	(9+9) 3	2	0,1566
AK2-82-8	30	393	285	266	72	84	7	890	1,40	25,7	(13+13) 2	4	0,1010
AK2-91-4	75	458	290	176	60	72	12	1016	1,5	39,0	(10+10) 4	4	0,0320
AK2-92-4	100	458	290	221	60	72	12	1105	1,6	48,3	(8+8) 5	4	0,0197
AK2-91-6	55	458	334	176	72	81	10	940	1,40	32,0	(17+17) 2	6	0,0620
AK2-92-6	75	458	334	246	72	81	10	1080	1,50	37,0	(6+6) 5	3	0,0349
AK2-91-8	40	458	334	176	72	84	7	756	1,50	26,6	(15+15) 2	4	0,0860
AK2-92-8	55	458	334	271	72	84	7	946	1,50	32,5	(10+10) 3	4	0,0470
AOK2-51-4	5,5	243	158	133	36	48	7	610	1,32	7,7	(14+14) 2	1	0,6600
AOK2-52-4	7,5	243	158	168	36	48	7	680	1,25	8,2	(10+10) 3	1	0,3900
AOK2-51-6	4,0	243	173	133	36	45	5	542	1,50	5,9	19+19	1	1,2360
AOK2-52-6	5,4	243	173	188	36	45	5	652	1,18	6,6	(14+14) 2	1	0,8840
AOK2-51-8	3,0	243	173	133	36	48	4	511	1,32	5,2	23+23	1	1,822
AOK2-52-8	4,0	243	173	188	36	48	4	621	1,06	6,1	(17+17) 2	1	1,270
AOK2-71-4	17,0	343	214	167	36	24	7	775	1,32	14,3	(14+14) 3	2	0,143
AOK2-72-4	22,0	343	214	207	36	24	7	855	1,50	16,2	(11+11) 3	2	0,095
AOK2-71-6	13,0	343	245	167	54	36	7	686	1,40	13,4	(13+13) 2	2	0,232
AOK2-72-6	17,0	343	245	207	54	36	7	786	1,25	15,2	(16+16) 2	3	0,182
AOK2-71-8	10,0	343	245	167	54	36	6	664	1,25	12,9	(16+16) 2	2	0,347
AOK2-72-8	13,0	343	245	207	54	36	6	744	1,40	14,8	(13+13) 2	2	0,258

Продолжение табл. 88

Обозначение	U=500 В					U=380/660 В				
	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом	d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
A2-61-2	1,18	11,0	(20+20) 2	2	0,3860	1,40	10,5	26+26	2	0,7080
A2-62-2	1,32	11,7	(17+17) 2	2	0,2660	1,18	12,0	(22+22) 2	2	0,4200
A2-61-4	1,06	9,6	(26+26) 2	2	0,4960	1,32	9,9	35+35	2	0,8600
A2-62-4	1,18	10,2	(21+21) 2	2	0,3490	1,06	11,3	(28+28) 2	2	0,5780
A2-61-6	1,32	8,9	25+25	2	0,7920	1,18	9,4	33+33	2	1,3080
A2-62-6	1,06	10,2	(18+18) 2	2	0,5160	1,32	10,3	24+24	2	0,8870
A2-61-8	1,18	8,3	29+29	2	1,098	1,06	8,7	38+38	2	1,790
A2-62-8	—	—	—	—	—	1,32	11,2	28+28	2	0,9950
A2-81-2	1,50	25,7	(11+11) 4	2	0,0844	1,50	26,4	(15+15) 3	2	0,1530
A2-82-2	1,50	27,4	(8+9) 5	2	0,0572	1,50	28,6	(11+12) 4	2	0,1030
A2-81-4	1,32	25,5	(24+24) 2	4	0,1450	1,12	24,1	(31+31) 2	4	0,2530
A2-82-4	1,60	29,3	(17+17) 2	4	0,0794	1,32	28,1	(23+23) 2	4	0,1440
A2-81-6	1,32	22,5	(17+17) 2	3	0,2260	1,60	22,8	23+23	3	0,3940
A2-82-6	1,18	24,3	(13+13) 3	3	0,1540	1,32	25,6	(17+17) 2	3	0,2570
A2-81-8	1,40	18,8	28+28	4	0,3210	1,25	19,1	36+36	4	0,5160
A2-82-8	1,18	22,7	(21+21) 2	4	0,2020	1,50	24,0	28+28	4	0,3440
A2-91-2	1,50	38,8	(6+6) 7	2	0,0421	1,32	44,5	(8+8) 7	2	0,0725
A2-92-2	1,50	40,2	(4+5) 9	2	0,0263	1,32	46,2	(6+6) 9	2	0,0452
A2-91-4	1,50	39,5	(13+13) 3	4	0,0554	1,60	37,6	(18+18) 2	4	0,1030
A2-92-4	1,60	40,0	(11+11) 3	4	0,0450	1,50	44,2	(14+14) 3	4	0,0652
A2-91-6	1,40	31,0	(11+11) 3	3	0,1050	1,50	32,2	(15+15) 2	3	0,1910
A2-92-6	1,40	34,6	(8+8) 4	3	0,0670	1,40	31,8	(10; 11) 3*	3	0,102
A2-91-8	1,32	24,7	(18+18) 2	4	0,1330	1,12	23,8	(24+24 2	4	0,245

А2-92-8	1,25	31,1	(14+15) 3	4	0,0945	1,32	36,6	(19+19) 2	4	0,167
А2-91-10	1,32	21,0	(12+12) 3	2	0,1856	—	—	—	—	—
А2-92-10	1,50	24,3	(9+9) 3	2	0,1210	—	—	—	—	—
АК2-81-4	1,40	27,6	(21+21) 2	4	0,1182	1,18	26,4	(28+28) 2	4	0,2280
АК2-82-4	1,32	31,9	(15+15) 3	4	0,0734	1,40	27,4	(19+19) 2	4	0,1220
АК2-81-6	1,40	23,1	(13+13) 2	3	0,1670	1,25	22,9	(17+17) 2	3	0,2740
АК2-82-6	1,32	27,4	(10+10) 3	3	0,1140	1,40	27,6	(14+14) 2	3	0,2100
АК2-81-8	1,50	21,6	(12+12) 2	2	0,2730	1,32	21,5	31+31	4	0,4610
АК2-82-8	1,40	25,3	(9+9) 3	2	0,1854	1,60	26,3	22+22	4	0,2620
АК2-91-4	1,50	39,5	(13+13) 3	4	0,0556	—	—	—	—	—
АК2-92-4	1,60	40,0	(11+11) 3	4	0,0452	—	—	—	—	—
АК2-91-6	1,40	31,5	(11+11) 3	3	0,1066	—	—	—	—	—
АК2-92-6	1,40	34,6	(8+8) 4	3	0,0670	—	—	—	—	—
АК2-91-8	1,32	24,7	(20+20) 2	4	0,1330	—	—	—	—	—
АК2-92-8	1,50	30,4	(14+14) 2	4	0,1000	—	—	—	—	—
АОК2-51-4	1,12	7,1	(18+18) 2	1	1,180	—	—	—	—	—
АОК2-52-4	1,32	7,9	(13+13) 2	1	0,685	—	—	—	—	—
АОК2-51-6	1,32	6,1	25+25	1	2,100	—	—	—	—	—
АОК2-52-6	1,06	6,8	(18+18) 2	1	1,410	—	—	—	—	—
АОК2-51-8	1,18	5,5	30+30	1	3,000	—	—	—	—	—
АОК2-52-8	1,40	6,8	22+22	1	1,88	—	—	—	—	—

* Полное число проводников в пазах: 60, 66, 60,...

Примечания: 1. Марка провода для двигателей АК2 9-го габарита ПЭТ-155, для остальных—ПЭТВ-2. 2. При напряжении 500 В фазы обмотки соединяются звездой.

Таблица 89. Данные двигателей единой серии АОЛС2, АОС2, АОТ2, АОЛ2(Ш) 2—5-го габаритов

Обозначение	P, кВт	D_a, мм	D_i, мм	l, мм	z_1	z_2	y	$l_{ср}$, мм	U=127/220 В				
									d, мм	M, кг	n	a	r, Ом
АОЛС2-21-2	1,8	153	86	65	24	20	11; 9	494	1,18	2,23	38	1	1,22
АОЛС2-22-2	2,5	153	86	92	24	20	11; 9	548	1,32	2,35	29	1	0,83
АОЛС2-21-4	1,3	153	94	70	24	30	7; 5	404	1,06	1,89	49	1	1,88
АОЛС2-22-4	2,0	153	94	97	24	30	7; 5	458	1,25	2,19	36	1	0,957
АОЛС2-21-6	1,0	153	98	70	36	26	7; 5	348	0,95	1,85	45	1	2,32
АОЛС2-22-6	1,3	153	98	97	36	26	7; 5	402	1,06	1,97	34	1	1,64
АОЛС2-31-2	3,5	180	106	90	24	20	11; 9; 7	580	1,18	3,40	$\frac{25\times2}{(13+11)\,2}$	1	0,48
АОЛС2-32-2	4,8	180	106	117	24	20	11; 9; 7	634	1,40	4,12	$\frac{20\times2}{(10+9)\,2}$	1	0,287
АОЛС2-31-4	3,0	180	112	90	36	26	11; 9; 7	476	1,06	3,12	42×2	1	0,604
АОЛС2-32-4	4,0	180	112	117	36	26	11; 9; 7	530	1,18	3,19	34×2	1	0,44
АОЛС2-31-6	2,0	180	118	90	36	44	7; 5	412	1,00	3,38	32×2	1	0,90
АОЛС2-32-6	2,7	180	118	117	36	44	7; 5	466	1,18	3,87	24×2	1	0,586
АОС2-31-2УЗ	3,5	180	106	88	24	20	11; 9	600	1,18	3,40	24×2	1	0,461
АОС2-32-2УЗ	4,8	180	106	115	24	20	11; 9	654	1,25	3,33	19×2	1	0,354
АОС2-31-4УЗ	3,0	180	112	88	36	26	11; 9; 7	476	1,06	3,14	22×2	1	0,623
АОС2-32-4УЗ	4,0	180	112	115	36	26	11; 9; 7	530	1,18	3,30	17×2	1	0,433
АОС2-31-6УЗ	2,0	180	122	88	36	33	7; 5	422	0,95	3,18	31×2	1	0,945
АОС2-32-6УЗ	2,7	180	122	115	36	33	7; 5	476	1,12	3,86	25×2	1	0,636
АОС2-41-2УЗ	6,8	208	123	110	24	20	11; 9	728	1,40	6,24	17×3	1	0,188
АОС2-42-2УЗ	9,0	208	123	148	24	20	11; 9	804	1,12	6,50	25×3	2	0,119
АОС2-41-4УЗ	5,2	208	133	110	36	46	11; 9; 7	580	1,18	5,51	17×3	1	0,315

АОС2-42-4У3	7,5	208	133	148	36	46	11; 9; 7	656	1,40	6,44	13×3	1	0,194
АОС2-41-6У3	4,0	208	144	110	36	33	7; 5	496	1,32	4,86	21×2	1	0,400
АОС2-42-6У3	4,7	208	144	148	36	33	7; 5	572	1,18	5,45	17×3	1	0,312
АОС2-41-8У3	3,0	208	144	110	36	33	4	430	1,12	3,62	(13+13) 2	1	0,593
АОС2-42-8У3	3,5	208	184	148	36	33	4	506	1,25	4,47	(11+11) 2	1	0,476
АОЛ2-21-4Ш	0,8	153	94	70	24	30	7; 5	404	0,95	1,90	61	1	2,48
АОЛ2-22-4Ш	1,1	153	94	97	24	30	7; 5	458	1,12	2,15	44	1	1,46
АОЛ2-21-6Ш	0,6	153	98	70	36	26	7; 5	348	0,85	1,80	56	1	3,68
АОЛ2-22-6Ш	0,8	153	98	97	36	26	7; 5	402	1,00	2,16	42	1	2,30
АОЛ2-31-4Ш	1,5	180	112	90	36	26	11; 9; 7	476	1,32	3,06	29	1	1,10
АОЛ2-32-4Ш	2,2	180	112	117	36	26	11; 9; 7	530	1,50	3,34	22	1	0,707
АОЛ2-31-6Ш	1,1	180	118	90	36	44	7; 5	412	1,25	3,38	41	1	1,47
АОЛ2-32-6Ш	1,5	180	118	117	36	44	7; 5	466	1,40	3,60	31	1	1,00
АОТ2-41-4У3	3,0	208	133	110	36	26	11; 9; 7	580	1,18	6,12	20×3	1	0,364
АОТ2-42-4У3	4,0	208	133	148	36	26	11; 9; 7	656	1,25	6,33	16×3	1	0,300
АОТ2-41-6У3	2,2	208	144	110	36	33	7; 5	496	1,25	4,98	25×2	1	0,530
АОТ2-42-6У3	3,0	208	144	148	36	33	7; 5	572	1,18	6,05	20×3	1	0,359
АОТ2-41-8У3	1,5	208	144	110	36	33	4	430	1,06	4,31	(17+17) 2	1	0,856
АОТ2-42-8У3	2,2	208	144	148	36	33	4	506	1,25	5,29	(13+13) 2	1	0,562
АОТ2-51-4	5,5	243	158	135	36	26	7	614	—	—	—	—	—
АОТ2-52-4	7,5	243	158	170	36	26	7	684	—	—	—	—	—
АОТ2-51-6	4,0	243	173	135	36	33	5	546	—	—	—	—	—
АОТ2-52-6	5,5	243	173	190	36	33	5	656	—	—	—	—	—
АОТ2-51-8	3,0	243	173	135	36	33	4	515	—	—	—	—	—
АОТ2-52-8	4,0	243	173	190	36	33	4	625	—	—	—	—	—

Обозначение	U=220/380 В				U=500 В					U=380/660 В			
	d, мм	n	a	r, Ом	d, мм	M кг	n	a	r, Ом	d мм	n	a	r, Ом
АОЛС2-21-2	0,90	66	1	3,67	0,75	2,06	87	1	6,92	—	—	—	—
АОЛС2-22-2	1,00	50	1	2,50	0,90	2,50	66	1	4,06	—	—	—	—
АОЛС2-21-4	0,80	85	1	4,88	0,71	1,84	112	1	8,64	—	—	—	—
АОЛС2-22-4	0,95	62	1	2,80	0,85	2,32	82	1	4,72	—	—	—	—
АОЛС2-21-6	0,71	78	1	7,15	0,63	1,80	103	1	12,27	—	—	—	—
АОЛС2-22-6	0,85	58	1	4,40	0,71	2,02	76	1	8,04	—	—	—	—
АОЛС2-31-2	0,95	$\frac{43\times2}{(22\times19)\,2}$	1	1,23	1,12	3,46	$\frac{57}{29+25}$	1	2,32	—	—	—	—
АОЛС2-32-2	1,06	$\frac{35\times2}{(18\times15)\,2}$	1	0,87	0,90	3,96	$\frac{46\times2}{(24+20)\,2}$	1	1,60	—	—	—	—
АОЛС2-31-4	1,18	37	1	1,72	1,00	3,00	49	1	3,18	—	—	—	—
АОЛС2-32-4	0,95	30×2	1	1,20	1,12	3,40	40	1	2,29	—	—	—	—
АОЛС2-31-6	1,06	56	1	2,78	0,95	3,30	74	1	4,60	—	—	—	—
АОЛС2-32-6	1,25	43	1	1,75	1,06	3,82	56	1	3,16	—	—	—	—
АОС2-31-2УЗ	1,25	41	1	1,41	1,06	3,30	54	1	2,57	0,95	71	1	4,21
АОС2-32-2УЗ	0,95	33×2	1	1,06	1,18	3,40	43	1	1,807	1,06	57	1	2,97
АОС2-31-4УЗ	1,18	38	1	1,72	1,00	3,08	50	1	3,19	0,85	66	1	5,774
АОС2-32-4УЗ	1,32	30	1	1,223	1,12	3,35	39	1	2,21	0,95	52	1	4,098
АОС2-31-6УЗ	1,06	54	1	2,72	0,95	3,40	71	1	4,431	—	—	—	—
АОС2-32-6УЗ	1,18	43	1	0,636	1,06	3,86	57	1	1,976	—	—	—	—
АОС2-41-2УЗ	1,32	29×2	1	0,541	1,12	5,96	38×2	1	0,980	1,00	50×2	2	1,63
АОС2-42-2УЗ	1,06	44×2	2	0,351	1,32	6,76	58	1	0,597	1,12	76	2	1,082
АОС2-41-4УЗ	1,12	29×2	1	0,898	1,40	5,56	38	1	1,51	1,25	50	1	2,49

АОС2-42-4У3	1,32	22×2	1	0,555	1,06	6,15	29×2	1	1,02	1,00	38×2	1	1,67
АОС2-41-6У3	1,00	36×2	1	1,19	1,25	4,69	47	1	2,00	1,06	63	1	3,715
АОС2-42-6У3	1,12	29×2	1	0,886	1,40	5,47	38	1	1,485	1,18	50	1	2,758
АОС2-41-8У3	1,18	23+23	1	1,904	1,06	3,62	30+30	1	3,065	0,95	40+40	1	5,061
АОС2-42-8У3	1,32	19+19	1	1,475	1,12	4,09	25+25	1	2,69	1,00	33+33	1	4,48
АОЛ2-21-4Ш	0,75	105	1	6,86	0,63	1,90	138	1	12,08	—	—	—	—
АОЛ2-22-4Ш	0,85	76	1	4,38	0,75	2,20	100	1	7,41	—	—	—	—
АОЛ2-21-6Ш	0,63	97	1	11,6	0,56	1,79	128	1	19,37	—	—	—	—
АОЛ2-22-6Ш	0,75	72	1	7,02	0,63	1,94	95	1	13,12	—	—	—	—
АОЛ2-31-4Ш	1,00	50	1	3,24	0,85	2,90	66	1	5,93	—	—	—	—
АОЛ2-32-4Ш	1,18	38	1	1,97	0,95	2,96	50	1	4,00	—	—	—	—
АОЛ2-31-6Ш	0,95	71	1	4,50	0,85	3,60	93	1	7,23	—	—	—	—
АОЛ2-32-6Ш	1,12	54	1	2,81	0,95	3,82	71	1	5,00	—	—	—	—
АОТ2-41-4У3	1,06	35×2	1	1,18	0,95	6,05	46×2	1	2,05	0,85	60×2	1	3,36
АОТ2-42-4У3	1,18	27×2	1	0,86	1,06	6,70	36×2	1	1,44	0,90	47×2	1	2,55
АОТ2-41-6У3	1,32	44	1	1,60	1,18	5,08	58	1	2,87	—	—	—	—
АОТ2-42-6У3	1,06	34×2	1	1,15	1,32	5,87	45	1	1,92	1,18	59	1	3,34
АОТ2-41-8У3	1,18	30+30	1	2,54	1,00	4,33	39+39	1	4,50	—	—	—	—
АОТ2-42-8У3	1,32	22+22	1	1,67	1,18	5,17	29+29	1	2,89	—	—	—	—
АОТ2-51-4	1,32	(14+14) 2	1	0,66	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АОТ2-52-4	1,18	(11+11) 3	1	0,488	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АОТ2-51-6	1,12	(17+17) 2	1	0,990	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АОТ2-52-6	1,25	(13+13) 2	1	0,730	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АОТ2-51-8	1,00	(20+20) 2	1	1,38	—	—	—	—	—	—	—	—	—
АОТ2-52-8	1,18	(15+15) 2	1	0,893	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечания: 1. Марка провода ПЭТВ-2. 2. При напряжении 500 В фазы обмотки соединяются звездой.

ЛИТЕРАТУРА

Бернштейн Л. М. Изоляция электрических машин общего назначения. — М.: Энергия, 1981.

Ванурин Н. В. Обмотки асинхронных электродвигателей. — Колос, 1978.

Зимин В. И. и др. Обмотки электрических машин. — М.: Энергия, 1975.

Клоков Б. К. Обмотчик электрических машин. — М.:Высшая школа, 1982.

Кравчик А. Э и др. Асинхронные двигатели серии 4А. Справочник. — М.: Энергия, 1982.

Никулин Н. В. Справочник молодого электрика по электротехническим материалам и изделиям. — М.: Высшая школа, 1982.

Перельмутер Н. М. Электромонтер — обмотчик и изолировщик по ремонту электрических машин. — М.: Высшая школа, 1980.

А. С. КОКОРЕВ

СПРАВОЧНИК МОЛОДОГО ОБМОТЧИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

ИЗДАНИЕ ШЕСТОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1985

ББК 31.26-04
К 59
УДК 621.313

Рецензент — канд. техн. наук М. В. Антонов (Московский энергетический институт).

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-техническому образованию
в качестве справочного пособия
для средних профессионально-технических училищ

Кокорев А. С.

К 59 Справочник молодого обмотчика электрических машин.—6-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1985. — 207 с., ил. — (Профессионально-техническое образование).

70 к.

В книге приведены основные сведения по обмоткам электрических машин постоянного и переменного тока, обмоточным проводам, оборудованию для механизации и автоматизации обмоточных работ, изоляции обмоток, схемы и расчеты обмоток.

Шестое издание справочника дополнено сведениями о новом оборудовании для механизации и автоматизации обмоточных работ.

К $\frac{2302030000—222}{052(01)—85}$ 16—85

ББК 31.26—04
6П2.1.081

ПРЕДИСЛОВИЕ

В пятилетних планах развития нашей страны предусматривается дальнейший рост механизации и автоматизации технологического процесса с целью увеличения эффективности производства и облегчения условий труда. Эта задача может быть решена только на базе всесторонней электрификации промышленности и сельского хозяйства, так как многие виды технологического оборудования — станки, различные механизмы, а также транспортные средства — приводятся в движение с помощью электродвигателей. Дальнейшее развитие электромашиностроения, увеличение количества электрических машин является необходимым условием технического прогресса.

Перед электротехнической промышленностью поставлена задача быстрыми темпами развивать производство электрических машин большой и малой мощности, электрической аппаратуры высокого и низкого напряжения, электрооборудования высокой надежности для механизации и автоматизации производственных процессов.

Обмотки являются наиболее ответственной частью электрической машины, определяющей ее надежность и долговечность. Для их качественного изготовления и ремонта требуются от обмотчика глубокие знания и твердые навыки. Обмотчик электрических машин должен хорошо знать не только технологию изготовления обмоток, но и устройство современного оборудования, которое используется для механизации и автоматизации процессов изготовления и контроля обмоток.

В справочнике приведены данные, дополняющие учебник для средних профессионально-технических училищ Б. К. Клокова «Обмотчик электрических машин» фактическим материалом, необходимым молодому рабочему при изготовлении и ремонте обмоток.